Julián Rodríguez Fernández
Luis Miguel Cerdá Filiu
Roberto Bezos Sánchez-Horneros

Automatismos industriales

ELECTRICIDAD - ELECTRÓNICA

Instalaciones Eléctricas y Automáticas

Incluye recursos digitales en www.paraninfo.es

Paraninfo
ciclos formativos

Instalaciones Eléctricas y Automáticas

Automatismos industriales

Julián Rodríguez Fernández
Luis Miguel Cerdá Filiu
Roberto Bezos Sánchez-Horneros

Paraninfo

Paraninfo

Automatismos industriales

© Julián Rodríguez Fernández, Luis Miguel Cerdá Filiu y Roberto Bezos Sánchez-Horneros

Gerente Editorial
María José López Raso

Equipo Técnico Editorial
Alicia Cerviño González
Paola Paz Otero

Editora de Adquisiciones
Carmen Lara Carmona

Producción
Nacho Cabal Ramos

Diseño de cubierta
Ediciones Nobel

Preimpresión
Montytexto

Reservados los derechos para todos los países de lengua española. De conformidad con lo dispuesto en el artículo 270 del Código Penal vigente, podrán ser castigados con penas de multa y privación de libertad quienes reprodujeren o plagiaren, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica fijada en cualquier tipo de soporte sin la preceptiva autorización. Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea este electrónico, químico, mecánico, electro-óptico, grabación, fotocopia o cualquier otro, sin la previa autorización escrita por parte de la Editorial.

COPYRIGHT © 2014 Ediciones Paraninfo, SA
1.ª edición, 2014

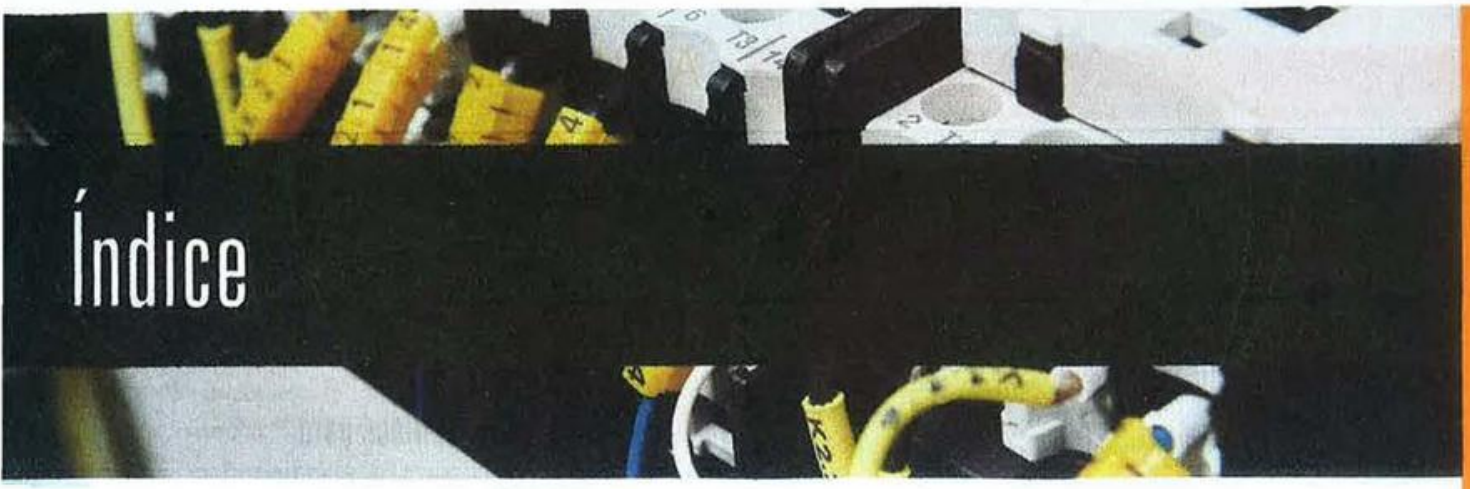
C/ Velázquez, 31, 3.º D / 28001 Madrid, ESPAÑA
Teléfono: 902 995 240 / Fax: 914 456 218
clientes@paraninfo.es / www.paraninfo.es

ISBN: 978-84-9732-483-0
Depósito legal: M-17090-2014

(11049)

Impreso en España /Printed in Spain
Gráficas Eujoa, S.A. Meres-Siero (Asturias)

A la memoria de mis queridos padres, Nazario y Ana-María.



Índice

Agradecimientos XIII
Presentación XV

1. Introducción a los automatismos industriales 1

1.1. Introducción a los automatismos industriales... 2
1.1.1. Desarrollo de los automatismos industriales 2
1.1.2. Comparativa entre las diferentes técnicas de automatización 5
1.1.3. Fases de desarrollo de un sistema automático..... 6
1.2. Estructura y componentes de las instalaciones de automatismos 7
1.2.1. Tipos de sistemas automáticos 8
1.2.2. Aparamenta eléctrica..... 8
1.3. Características de las instalaciones eléctricas industriales 9
1.3.1. Estructura del sistema eléctrico 10
1.3.2. Parámetros característicos de las instalaciones eléctricas en baja tensión..... 11
1.3.3. Esquemas en redes de distribución..... 13
1.3.4. Reparto de cargas 16
1.4. Legislación y normativa de aplicación..... 17
1.4.1. El entorno legal 17
1.4.2. El entorno normativo..... 17
1.4.3. Normativa y reglamentación aplicables a las instalaciones eléctricas de baja tensión..... 18
1.4.4. Otras normas y disposiciones legales de aplicación en las instalaciones de automatismos industriales..... 19
Actividades finales..... 20

2. Componentes de las instalaciones eléctricas industriales 23

2.1. Conductores eléctricos 24
2.1.1. Tipos de conductores eléctricos 24
2.1.2. Características técnicas de los conductores eléctricos..... 25
2.1.3. Designación técnica de los conductores 28
2.1.4. Conductores eléctricos en instalaciones industriales 29
2.2. Dispositivos de conexión y seccionamiento.... 30
2.2.1. Base de toma de corriente..... 31
2.2.2. Seccionador..... 33
2.2.3. Interruptores, pulsadores y reguladores 34
2.2.4. Contactor..... 35
2.2.5. Posibilidad de conectar y desconectar circuitos eléctricos en carga 38
2.3. Dispositivos de protección 38
2.3.1. Defectos asociados a las instalaciones eléctricas 39
2.3.2. Riesgos eléctricos para las personas y los animales..... 40
2.3.3. Dispositivos de protección en las instalaciones de automatismos industriales 41
2.3.4. El cortacircuitos fusible 42
2.3.5. El relé térmico..... 46
2.3.6. El interruptor automático 49
2.3.7. El interruptor diferencial..... 53
2.3.8. El descargador de sobretensiones..... 56
2.3.9. El concepto de selectividad..... 58
2.3.10. El concepto de filiación 60

2.4. Dispositivos y equipos de medida 60
2.4.1. El voltímetro 60
2.4.2. El amperímetro 61
2.4.3. El óhmetro 61
2.4.4. El vatímetro 61
2.4.5. El frecuencímetro 62
2.4.6. El fasímetro 62
2.4.7. El sincronoscopio 62
2.4.8. Analizadores de redes 62
2.4.9. Contadores de energía 63
2.4.10. Transformadores de medida 63
2.5. Receptores y actuadores 64
Actividades finales 66

3. Representación gráfica y dibujo industrial 71

3.1. Fundamentos del dibujo industrial 72
3.1.1. Trazos y grosores 72
3.1.2. Procesos y técnicas de croquizado 73
3.1.3. Escalas y proporciones 75
3.1.4. Acotación 75
3.1.5. Sistemas de representación de piezas y objetos 78
3.2. Gestión de la documentación gráfica 80
3.2.1. Formato 80
3.2.2. Márgenes y cuadro de rotulación 81
3.2.3. Impresión de planos y esquemas 82
3.2.4. Plegado de planos 82
3.2.5. Conservación de la documentación gráfica 83
3.3. Representación de planos de edificación y obra civil 83
3.3.1. Planos de obra civil 83
3.3.2. Planos de edificación 84
3.4. Representación de los circuitos eléctricos 86
3.4.1. Esquemas unifilares 86
3.4.2. Esquemas multifilares 86
3.4.3. Esquemas de principio 90
3.4.4. Interpretación de esquemas eléctricos 90
3.5. Planos representativos de las instalaciones electrotécnicas 91
3.5.1. Planos de planta de la instalación eléctrica 92
3.5.2. Trazado de las canalizaciones 92
3.5.3. Planos de las vías de evacuación 94
3.5.4. Plano de la red equipotencial de tierras 94
3.5.5. Planos de detalle 94
Actividades finales 95

4. Cuadros eléctricos para automatismos industriales 99

4.1. Concepto de cuadro eléctrico y normativa de aplicación 100
4.2. Niveles de protección: códigos IP e IK 101
4.2.1. Grado de protección IP de envolventes 102
4.2.2. Grado de protección IK de envolventes 105
4.3. Separación interna de cuadros eléctricos 105
4.4. Tipología de cuadros y armarios eléctricos 106
4.4.1. Clasificación según la función que desempeña en la instalación eléctrica 106
4.4.2. Clasificación según el material constructivo 109
4.4.3. Clasificación según el diseño exterior 109
4.4.4. Clasificación según las condiciones de instalación 111
4.4.5. Clasificación según el método de instalación del cuadro 112
4.4.6. Clasificación según su acceso al interior del cuadro 112
4.5. Elementos y componentes de los cuadros eléctricos 113
4.5.1. Componentes mecánicos de los cuadros 113
4.5.2. Componentes eléctricos para el conexionado 120
4.5.3. Otros accesorios y componentes 128
4.6. Ventilación, calefacción y deshumidificación de cuadros eléctricos 128
4.6.1. Ventilación natural 129
4.6.2. Ventilación forzada 129
4.6.3. Calefacción de cuadros eléctricos 129
4.6.4. Termostatos y deshumidificantes para cuadros eléctricos 130
4.7. Ensamblado de cuadros para automatismos industriales 130
Actividades finales 134

5. Técnicas de mecanizado de cuadros y canalizaciones 137

5.1. Concepto de mecanizado de materiales y cuadros eléctricos. 138
5.2. Materiales empleados: características y propiedades 138
5.2.1. Características de los materiales. 138
5.2.2. Propiedades de los materiales. 138
5.3. Materiales asociados a la industria eléctrica y de automatización 139
5.3.1. Cobre. 139
5.3.2. Aluminio. 140
5.3.3. Hierro 140
5.3.4. Acero. 140
5.3.5. Fundición 140
5.3.6. Plata. 140
5.3.7. Wolframio. 141
5.3.8. Estaño 141
5.3.9. Plomo 141
5.3.10. Cadmio 141
5.4. Fases para la mecanización de cuadros eléctricos. 141
5.5. Técnicas y útiles para mecanizado de cuadros eléctricos de automatismos. 143
5.5.1. Técnicas para medir en cuadros y piezas 143
5.5.2. Técnicas para el trazo y marcaje en los materiales 148
5.5.3. Técnicas para sujeción de piezas 149
5.5.4. Técnicas para cortar material 150
5.5.5. Técnica de limado de material 153
5.5.6. Técnicas para taladrar o perforar 154
5.5.7. Técnicas y elementos para fijar por roscado y remachado 157
5.5.8. Técnicas para unir materiales 159
5.5.9. Técnicas para crimpar terminales 160
5.5.10. Técnicas para deformar materiales por golpeo. 160
5.5.11. Mecanizado y doblado de tubos y embarrados. 161
5.5.12. Técnicas de protección de los materiales 161
5.5.13. Mecanizado de tapas para los huecos de la aparamenta. 162
5.5.14. Mecanizado y fijación de cuadros para automatismos 163
5.6. Mecanizado de canalizaciones eléctricas para conductores. 163
5.6.1. Mecanización de canalizaciones bajo tubo 164
5.6.2. Técnicas de montaje de accesorios de fijación de tubos. 165
5.6.3. Mecanización de canalizaciones en bandeja 165
5.6.4. Mecanizado de bandejas alternativas . . . 166
5.6.5. Técnicas de montaje y accesorios de fijación de bandejas y cajas de derivación. 167
Actividades finales. 168

6. Motores eléctricos 171

6.1. Introducción a las máquinas eléctricas. 172
6.1.1. Máquinas eléctricas rotativas 172
6.1.2. Clasificación y composición de los motores eléctricos. 173
6.2. Motores trifásicos 175
6.2.1. Clasificación de los motores trifásicos 176
6.2.2. Conexionado y caja de bornes del motor trifásico de inducción. 177
6.2.3. Fundamentos técnicos del motor trifásico de inducción 181
6.2.4. Placa de características. 184
6.2.5. Curva característica de par-velocidad de un motor de inducción. 185
6.3. Motores de corriente alterna. 186
6.3.1. Motor de CA con bobina auxiliar de arranque 186
6.3.2. Motor de CA de arranque por condensador. 187
6.3.3. Motor de CA de arranque por espira de sombra 187
6.3.4. Motores universales 187
6.4. Motores de corriente continua 188
6.4.1. Constitución del motor de corriente continua. 189
6.4.2. Tipos de motores de corriente continua. 190
6.4.3. Caja de bornes del motor de CC. 191
6.5. Dimensionado de instalaciones eléctricas con motores. 192
6.5.1. Cálculo de la sección de los conductores de alimentación. 192
6.5.2. Compensación del factor de potencia. . . 194

6.5.3. Instalación de condensadores y baterías de condensadores 195
Actividades finales 198

7. Automatización industrial mediante lógica cableada 203

7.1. Interpretación de los circuitos de automatismos 204
7.1.1. Representación gráfica de los circuitos de automatismos 204
7.1.2. El contactor en los esquemas de automatismos 204
7.1.3. Alimentación de los circuitos de potencia y maniobra 206
7.2. Dispositivos de control manual 207
7.2.1. Interruptores 207
7.2.2. Pulsadores 208
7.2.3. Instalaciones con varios puestos de mando 209
7.3. Maniobras en los circuitos de automatismos 210
7.3.1. Funcionamiento por pulsos 210
7.3.2. Funcionamiento continuo: la realimentación 210
7.3.3. Pilotos de señalización de marcha y paro 211
7.3.4. El enclavamiento 212
7.4. Dispositivos de control automático 213
7.4.1. Detectores y sensores mecánicos 214
7.4.2. Detectores y sensores de proximidad 215
7.4.3. Detectores y sensores de variables físicas externas 217
7.5. Temporizadores y circuitos temporizados 217
7.5.1. Diagramas secuenciales 219
7.6. Automatismos domésticos 220
7.6.1. El interruptor horario 220
7.6.2. El automático de escalera 221
7.6.3. El relé y el telerruptor 222
7.7. Representación y marcado de componentes 223
7.7.1. Simbología electromecánica normalizada 223
7.7.2. Marcado de componentes 223
7.7.3. Referenciado de bornes y terminales 226
7.7.4. Representación avanzada de esquemas de automatismos 228
Actividades finales 230

8. Automatismos para el arranque, control y protección de motores 235

8.1. Protección de motores eléctricos 236
8.1.1. El guardamotor 238
8.1.2. Sondas térmicas para motores 238
8.1.3. Relés electrónicos de protección integral 239
8.2. Arranque de motores eléctricos 240
8.2.1. Arranque de motores trifásicos 240
8.2.2. Arranque directo de un motor 241
8.2.3. Arranque estrella-triángulo (Y-Δ) 244
8.2.4. Arranque mediante resistencias estatóricas 248
8.2.5. Arranque mediante resistencias rotóricas 250
8.2.6. Arranque por autotransformador 252
8.2.7. Arranque *part-winding* 254
8.2.8. Arranque electrónico 254
8.2.9. Arranque de motores trifásicos en redes monofásicas 258
8.2.10. Arranque de motores monofásicos con aparamenta trifásica 260
8.2.11. Arranque de motores de corriente continua 260
8.3. Inversión de giro en motores eléctricos 262
8.3.1. Inversión de giro en motores trifásicos 262
8.3.2. Inversión de giro en motores monofásicos 265
8.3.3. Inversión de giro en motores de corriente continua 267
8.4. Sistemas de variación de velocidad en motores de corriente alterna 267
8.4.1. Motor trifásico de inducción de dos velocidades 268
8.4.2. Motor trifásico de inducción tipo Dahlander 268
8.4.3. Variadores de frecuencia. Regulación electrónica de la velocidad 271
8.5. Frenado de motores eléctricos 272
8.5.1. Frenado por contracorriente 273
8.5.2. Frenado por inyección de corriente continua 273
8.5.3. Frenado electromecánico 273
8.6. Compensación automática del factor de potencia 277
Actividades finales 278

9. Fundamentos de electrónica digital 283

9.1. Sistemas de numeración 284
9.1.1. Números decimales 284
9.1.2. Números binarios 284
9.1.3. Números octales 286
9.1.4. Números hexadecimales 286
9.1.5. Sistemas para representar números negativos binarios 287
9.1.6. Código Gray 288
9.2. Lógica de contactos 288
9.2.1. Función lógica AND o "Y" 288
9.2.2. Función lógica OR u "O" 289
9.2.3. Función AND de funciones OR 289
9.2.4. Función OR de funciones AND 290
9.3. Lógica de funciones 291
9.3.1. Puerta lógica OR u "O" 291
9.3.2. Puerta lógica AND o "Y" 292
9.3.3. Puerta lógica NOT o "NEGACIÓN" ... 292
9.3.4. Puerta lógica NOR 293
9.3.5. Puerta lógica NAND 293
9.3.6. Puerta lógica X-OR u "OR EXCLUSIVA" 294
9.3.7. Puerta lógica XNOR o "NOR EXCLUSIVA" 294
9.3.8. Puerta lógica IGUALDAD 295
9.4. Álgebra de Boole y teoremas de Morgan 296
9.4.1. Axiomas del álgebra de Boole 296
9.4.2. Teoremas de Morgan 297
9.4.3. Expresiones y funciones booleanas 298
9.5. Obtención del circuito lógico a partir de una tabla de verdad y viceversa 300
9.6. Simplificación de funciones booleanas 301
9.6.1. Métodos de simplificación de funciones 301
9.6.2. Simplificación de funciones lógicas mediante diagramas mapas de Karnaugh 302
Actividades finales 306

10. El autómata programable 309

10.1. Los automatismos programados 310
10.2. Las ventajas y los inconvenientes 310
10.3. La estructura del autómata programable 310
10.3.1. La CPU 311
10.3.2. La fuente de alimentación 312
10.3.3. Los módulos de entradas y salidas ... 312
10.4. Los paneles de operación 315
10.5. Las tarjetas de memoria 315
10.6. Las comunicaciones industriales 316
10.6.1. Modbus 316
10.6.2. Profibus 316
10.6.3. AS-i 317
10.6.4. Ethernet industrial 318
10.7. Los sistemas SCADA 319
10.8. Los circuitos eléctricos en los autómatas 319
10.8.1. Los contactos de seguridad 321
10.9. La programación de autómatas 321
10.9.1. Los lenguajes de programación 321
10.9.2. Las áreas o mapa de memoria 322
10.10. La programación mediante bloques funcionales 322
10.10.1. Las entradas 323
10.10.2. Las salidas 323
10.10.3. La función OR 323
10.10.4. La función NOR 323
10.10.5. La función AND 324
10.10.6. La función NAND 324
10.10.7. La función NOT 324
10.10.8. La resolución de problemas 325
10.10.9. El temporizador 326
10.10.10. El contador 326
10.10.11. Otras funciones 327
10.11. La programación mediante diagrama de contactos 327
10.12. La programación mediante lista de instrucciones 328
10.13. Los diagramas de Grafcet 328
10.13.1. Los elementos del diagrama 328
10.13.2. Las etapas 329
10.13.3. Las reglas 329
10.13.4. Las estructuras 330
10.13.5. Implementación del Grafcet 330
Actividades finales 333

11. Relés programables 335

11.1. Los relés programables 336
11.2. Logo (Siemens) 336
11.2.1. Tipos de Logo 336
11.2.2. Partes del Logo 337
11.2.3. Conexión a la fuente de alimentación 337
11.2.4. Conexión de las entradas 338
11.2.5. Conexión de las salidas 338
11.2.6. Los módulos de expansión 338
11.2.7. La programación del Logo 339
11.2.8. Los bloques de funciones 339

11.2.9. La realización de un programa 343
11.2.10. La simulación 345
11.3. Zelio Logic (Schneider) 345
11.3.1. Tipos de Zelio 345
11.3.2. Partes del Zelio 346
11.3.3. Los módulos de expansión 346
11.3.4. Las conexiones 347
11.3.5. La programación del Zelio 347
11.3.6. Las herramientas de programación.. 349
11.3.7. La realización de un programa 355
11.3.8. La simulación 358
11.3.9. La transferencia del programa 358
11.3.10. El modo de monitorización..... 359
Actividades finales..... 360

12. Puesta en marcha, mantenimiento y resolución de averías 363

12.1. Ejecución de las instalaciones eléctricas 364
12.1.1. Instalador autorizado y empresa autorizada en baja tensión 364
12.1.2. Obligaciones de los instaladores autorizados en baja tensión..... 365
12.1.3. Herramientas y equipamiento específico del instalador electricista autorizado..... 366
12.1.4. Equipamiento específico para el mantenimiento de máquinas rotativas industriales..... 371
12.2. Mantenimiento de las instalaciones eléctricas... 371
12.2.1. Tipos de mantenimiento 371
12.2.2. El plan de mantenimiento..... 374
12.2.3. Libro de mantenimiento 376
12.2.4. Manual de instrucciones..... 376
12.3. Mantenimiento de las instalaciones de automatismos industriales 376
12.3.1. Mantenimiento específico de motores..... 377
12.4. Resolución de averías en las instalaciones de automatismos industriales 379
12.5. Legalización y puesta en servicio de las instalaciones eléctricas industriales 381
12.5.1. Documentación asociada a las instalaciones eléctricas..... 382
12.5.2. Documentación asociada a las instalaciones eléctricas industriales 383
12.5.3. Certificado de instalación eléctrica ... 383
12.5.4. Tramitación de las instalaciones..... 385
12.5.5. Inspecciones iniciales y periódicas... 385
12.5.6. Puesta en servicio de las instalaciones 386
Actividades finales..... 388

13. Seguridad, prevención de riesgos y protección ambiental 391

13.1. Prevención de riesgos laborales 392
13.1.1. Obligaciones generales del empresario..... 392
13.1.2. Derechos y obligaciones de los trabajadores 393
13.1.3. Prevención de riesgos laborales en los procesos de montaje y mantenimiento 393
13.1.4. El plan de prevención de riesgos laborales 395
13.1.5. Coordinador en materia de seguridad y salud..... 398
13.2. El riesgo eléctrico..... 398
13.2.1. Efectos de la electricidad sobre el organismo 399
13.2.2. Respuesta ante un accidente eléctrico: primeros auxilios 399
13.2.3. Accidentado en llamas 400
13.3. Equipos, materiales y dispositivos de seguridad 400
13.3.1. Materiales y equipos de protección individual 400
13.3.2. Señalización de seguridad..... 403
13.3.3. Alarmas acústicas y luminosas..... 405
13.3.4. Dispositivos y aparamenta de seguridad integrada y colectiva..... 405
13.3.5. Sistemas de control y supervisión de señales de seguridad..... 409
13.4. Métodos de trabajo en las instalaciones eléctricas..... 412
13.4.1. Trabajos sin tensión: las cinco reglas de oro 413
13.4.2. Trabajos en presencia de tensión 414
13.4.3. Trabajos en altura..... 414
13.5. Medidas de protección ambiental..... 416
13.5.1. Evaluación del impacto ambiental ... 416
13.5.2. Sistemas de gestión ambiental 417
13.5.3. Fuentes de contaminación del entorno ambiental..... 417
13.5.4. Reciclaje de componentes y materiales..... 418
Actividades finales..... 419

Anexo. Simbología normalizada 423

Agradecimientos

El desarrollo de este libro solo ha sido posible gracias a la ayuda y aportación prestada por las personas y empresas citadas a continuación, que de manera desinteresada han contribuido material o moralmente con su esfuerzo, aportando información de calidad y contenidos actualizados, y que de una u otra manera hacen que esta obra sea una herramienta idónea para que cualquier estudiante o profesional alcance una óptima y completa formación en el campo de los automatismos industriales y por extensión, en el ámbito de la electricidad, obteniendo una visión general de las empresas más fuertes y de los recursos necesarios relacionados con esta materia.

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento, por permitirnos publicar contenido gráfico y documental de su propiedad, a las siguientes empresas:

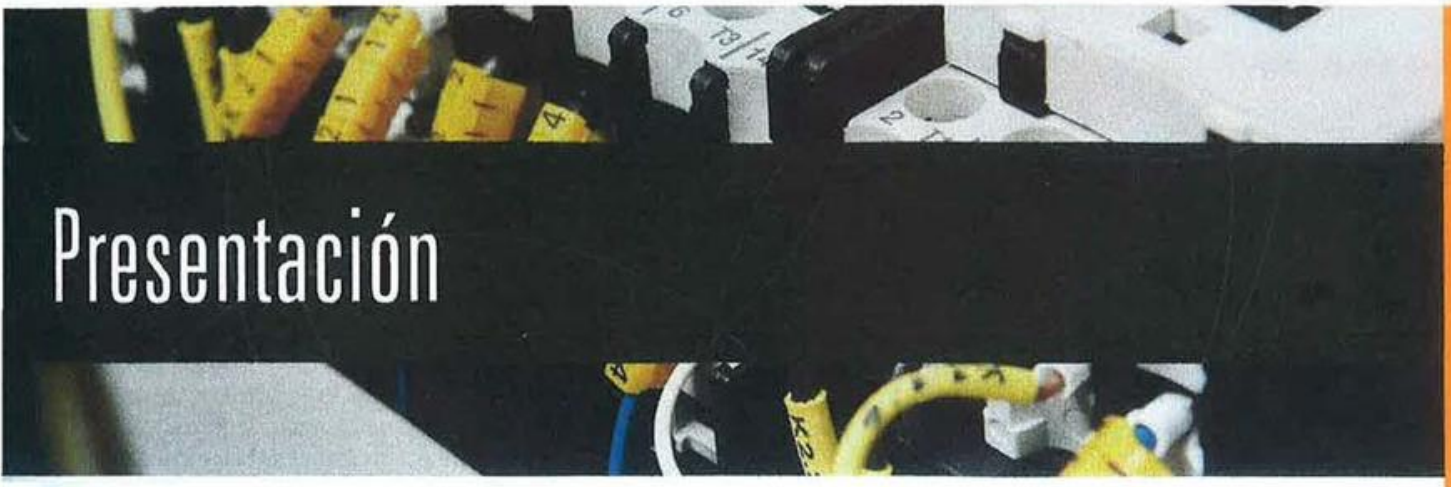
- ABB.
- Balluf
- Banner
- Basor Electric.
- Cahors Española.
- Circutor
- ELPROM
- Fluke
- General Cable.
- Gewiss Spa.
- Hager Sistemas, SA.
- Honeywell
- Iberdorla
- Leuze Electronic
- Mitsubishi Electric
- Moeller
- Schmersal
- Schneider Electric.
- Siemens España.
- Simon.
- 3M.

Nos gustaría también mostrar nuestra gratitud, por ofrecer contenidos teóricos y esquemas pertenecientes a proyectos de aplicación real, a:

- David Bezos Sánchez-Horneros de la empresa Ingelur.
- Jesús de la Riva Jiménez y Francisco Javier García Otero de la empresa Sunergia Sistemas.

También tiene toda nuestra gratitud el equipo de Ediciones Paraninfo, puesto que sin su confianza, esfuerzo y dedicación, esta obra nunca hubiese podido ser llevada a cabo.

Y por supuesto, los autores no queremos perder la oportunidad de expresar nuestro eterno agradecimiento a nuestras familias y amigos, fuentes inagotables de inspiración.



Presentación

El texto que a continuación se presenta tiene como objetivo servir de herramienta básica de referencia y trabajo para los alumnos que vayan a cursar el ciclo formativo de Grado Medio correspondiente al título de **Técnico en Instalaciones Eléctricas y Automáticas**. No obstante, también resultará de gran ayuda para cualquier profesional que desarrolle su actividad en entornos de trabajo que guarden relación con la electricidad o las instalaciones eléctricas.

Todo el material incluido en este libro se ajusta fielmente a las competencias generales del módulo profesional de referencia, *Automatismos Industriales*; teniendo muy en cuenta la secuenciación de contenidos y objetivos del ciclo, así como los resultados de aprendizaje y criterios de evaluación perseguidos. Se trata de un módulo profesional con una gran carga lectiva, siendo eminentemente práctica. En este sentido, se ha realizado un gran esfuerzo para elaborar una herramienta docente lo más adecuada posible para un proceso de aprendizaje de estas características, asumiendo los más modernos criterios pedagógicos.

La obra se encuentra **totalmente actualizada**, en consonancia con las guías, normas (nacionales, europeas e internacionales) y disposiciones legales vigentes del sector, los programas informáticos de mayor calado y las últimas novedades ofrecidas por los fabricantes en lo que respecta a materiales, dispositivos, equipos y herramientas.

La materia incluida se ha desarrollado a lo largo de 13 unidades formativas, cuyos contenidos se presentan con un lenguaje técnico, pero muy claro y fácil de entender. Este contenido teórico se complementa, además, con numerosas fotografías, ilustraciones, tablas, planos, diagramas explicativos, esquemas de montaje, detalles de conexionado y extractos de proyectos de aplicación real, así como con actividades propuestas, actividades resueltas y supuestos prácticos que ofrecen una metodología de trabajo muy atractiva, cuya finalidad es agilizar la dinámica de clase y favorecer la atención permanente de los alumnos. Los contenidos de cada una de las unidades se resumen a continuación:

- **Unidad 1.** Se ofrece una visión general del entorno de los automatismos industriales, enmarcándolos en el campo de las instalaciones eléctricas y definiendo la normativa de aplicación de mayor importancia.
- **Unidad 2.** Se analizan en profundidad los dispositivos más importantes que componen los circuitos de fuerza y maniobra de las instalaciones de automatismos industriales.
- **Unidad 3.** Se estudian de una manera sencilla los planos, esquemas y representaciones más utilizadas en las instalaciones eléctricas, tras una breve introducción al dibujo industrial.
- **Unidad 4.** Se da a conocer el ámbito de los cuadros eléctricos, los elementos relacionados con ellos, el tipo de locales y condiciones ambientales y las características y métodos de instalación.
- **Unidad 5.** Se explican métodos, técnicas y tareas necesarias para adecuar y transformar materiales industriales empleados en automatismos y que sean acordes a la seguridad y funcionalidad idónea de los equipos y componentes.
- **Unidad 6.** Se analizan las características fundamentales de los motores eléctricos, así como sus métodos de conexionado y configuración.

  Al finalizar esta unidad se incluye un **anexo técnico** en el que se explica el significado de los posibles códigos y marcados normalizados asociados a los motores eléctricos.
- **Unidad 7.** Se desarrollan circuitos de automatismos industriales en lógica cableada, analizando todos los componentes y peculiaridades asociados a los mismos.
- **Unidad 8.** Se analizan los diferentes automatismos cableados y electrónicos relacionados con los motores eléctricos, al tratarse de los receptores por excelencia de las instalaciones industriales.

- **Unidad 9.** Se estudian los principios digitales en los que están basados los equipos que en algunos casos sustituyen a la lógica cableada dada la evolución, reducción de costes y prestaciones que ofrece esta tecnología.
- **Unidad 10.** En esta unidad se analizan los diferentes tipos de autómatas programables, su constitución y la programación básica de los mismos.
- **Unidad 11.** Se estudian dos de los relés programables más utilizados (Logo de Siemens y Zelio de Schneider). Se aprenderá a programar ambos modelos mediante dos metodologías: bloque de funciones y diagrama de contactos.
- **Unidad 12.** Se dan a conocer las principales técnicas y equipos asociados a la instalación y posterior mantenimiento de las instalaciones de automatismos industriales.
- **Unidad 13.** Se analizan criterios, técnicas, materiales y equipos que resulta necesario conocer para garantizar la seguridad y prevención de riesgos laborales, así como la protección del entorno medioambiental.
- **Anexo final.** Al finalizar la obra se incluye un anexo en el que se ofrece una relación de toda la simbología eléctrica y mecánica asociada al entorno de los automatismos industriales.

En cada una de las unidades didácticas mencionadas se incluyen, de forma organizada y muy bien estructurada, los siguientes contenidos:

- *Casos prácticos de utilidad real*, que simulen situaciones del entorno profesional.
- *Actividades propuestas*, que permitan demostrar el grado de comprensión de la materia impartida.
- *Actividades resueltas*, para afianzar los contenidos teóricos.
- *Material gráfico de gran calidad*, que aumenta enormemente el aprendizaje y facilita el estudio.
- *Simbología normalizada y convencionalismos de representación*, para identificar los equipamientos estudiados dentro de un entorno de trabajo profesional.
- *Actividades finales de comprobación y aplicación*, que permiten verificar los conocimientos adquiridos por los alumnos.
- *Anotaciones destacadas en forma de «sabías que» y «recuerda»*, para sintetizar los conceptos más relevantes.

En lo referente al **material interactivo y multimedia**, se hace necesario destacar que el lector podrá acceder a un contenido complementario de gran valor, a través de **www.paraninfo.es** mediante un sencillo registro desde la sección "Recursos previo registro" de la ficha de la obra, donde podrá encontrar extractos de proyectos reales, infografías y *software* para su visualización, guías técnicas, reglamentos y normativa de aplicación, contenidos teóricos adicionales y un largo etcétera. Asimismo, los profesores del módulo pueden acceder a una **zona de descargas exclusiva** con material de apoyo que incluye la guía didáctica del módulo y los solucionarios de las actividades y prácticas propuestas a lo largo del libro.

En definitiva, a través de este libro los alumnos adquirirán una **formación** totalmente actualizada que les permitirá realizar el montaje, configuración y mantenimiento de las instalaciones eléctricas relacionadas con el entorno de los automatismos industriales.

Como objetivo general y a modo de conclusión, la obra pretende servir de guía tanto para el alumno, como para el profesor que imparta el módulo. Ha sido enfocada de tal manera que cualquier lector, ya sea estudiante o profesional del sector, podrá consultar con gran amplitud los aspectos teóricos y normativos, y relacionar estos conceptos directamente con la práctica. Así pues, y gracias a una metodología basada en la adecuación de los contenidos y procedimientos a la **realidad profesional**, el alumno podrá conseguir la destreza y habilidad necesarias que le otorguen la capacidad de desenvolverse y aprender por sí solo; haciendo posible la ejecución, el montaje y el mantenimiento de instalaciones de automatismos industriales mientras acata los protocolos de calidad y seguridad, tiene en cuenta los riesgos laborales y el respeto al medio ambiente y asegura la total funcionalidad y disponibilidad de los sistemas.

Introducción a los automatismos industriales

1

La automatización de una máquina, sistema o proceso industrial, consiste en la incorporación al mismo de un conjunto de elementos y dispositivos tecnológicos (eléctricos, electrónicos o electromecánicos) que aseguren su control, gestión y buen funcionamiento. Dicho automatismo, además, ha de ser capaz de responder adecuadamente ante las situaciones previstas de antemano.

En esta unidad se ofrece una visión general del entorno de los automatismos industriales, enmarcándolos en el campo de las instalaciones eléctricas y definiendo la normativa de aplicación de mayor importancia.

Contenidos

- 1.1. Introducción a los automatismos industriales
- 1.2. Estructura y componentes de las instalaciones de automatismos
- 1.3. Características de las instalaciones eléctricas industriales
- 1.4. Legislación y normativa de aplicación

Objetivos

- Dar a conocer los conceptos de automática, automatización y automatismo industrial.
- Analizar las técnicas de automatización empleadas en la actualidad.
- Definir la estructura y características de un proceso automatizado.
- Identificar los diferentes tipos de sistemas automáticos.
- Ofrecer una visión general del entorno de las instalaciones eléctricas industriales.
- Analizar la normativa y legislación que afecta a los automatismos industriales.

1.1. Introducción a los automatismos industriales

La Real Academia Española de la Lengua define **automatismo** como el desarrollo de un proceso o funcionamiento de un mecanismo por sí solo, y **automática** como el estudio de los métodos cuya finalidad es la sustitución de un operador humano por un operador artificial basado en dispositivos mecánicos o electrónicos en la realización de una tarea previamente programada.

Tomando como base estas dos definiciones, puede establecerse que la **automatización** consiste en el estudio y aplicación de la automática al control de los procesos industriales, derivando en la incorporación a un determinado proceso un conjunto de componentes y dispositivos eléctricos, electromecánicos y electrónicos interconectados entre sí capaces de asegurar su gestión, control y buen funcionamiento: los **automatismos industriales**.

Mediante la automatización industrial se generan una serie de procesos cuya maquinara y equipos son capaces de actuar de manera automática (con la **mínima intervención por parte de un operario**), respondiendo a todas las situaciones posibles predefinidas de antemano.

SABÍAS QUE

Los procesos industriales de producción pueden ser de cuatro tipos: procesos de transformación, procesos de fabricación, procesos de distribución y procesos de medición o de verificación.

Gracias a los sistemas automatizados resulta posible, entre otros objetivos, reducir los costes de fabricación, optimizar y mejorar la calidad de las líneas de producción y liberar a los operarios de realizar tareas peligrosas, monótonas o demasiado precisas.

Históricamente, las tareas industriales se basaban en procesos manuales donde el operario ejecutaba todas las tareas de fabricación. Posteriormente, aparecen los procesos de mecanizado, que incluían determinada maquinaria en el proceso de fabricación, lo que acabó derivando en los procesos automáticos, donde es la máquina la que realiza la producción mediante instrucciones diseñadas por el hombre.

En la actualidad, la automatización industrial se encuentra en una fase denominada como proceso automático integrado, donde la maquinaria *dialoga* con el proceso de fabricación.

1.1.1. Desarrollo de los automatismos industriales

La evolución de los automatismos industriales surge de la necesidad de mejora de los antiguos sistemas y técnicas de control manual, que requerían una mano de obra extremadamente cualificada y ralentizaban enormemente la velocidad y competitividad de los procesos.

El primer escalón en la mejora de estos procesos surge a partir de la aparición de la **lógica cableada**, donde parte de las antiguas técnicas manuales son sustituidas por equipos eléctricos y electromecánicos como contactores, relés o temporizadores.

Sin embargo, a finales de los años sesenta, los procesos industriales eran cada vez más exigentes, y los sistemas de automatización mediante lógica cableada empezaron a plantear problemas como la necesidad de disponer de personal altamente cualificado para desempeñar las tareas de diseño, ejecución y mantenimiento de las instalaciones. Además, las reparaciones por averías para reemplazar los componentes del sistema de automatización implicaban un gran coste, ocasionando enormes pérdidas económicas por la parada del proceso industrial.

Figura 1.1. *Evolución de los automatismos industriales.*

También el proceso de actualización de las instalaciones mediante relés era muy largo y costoso, ya que los técnicos eléctricos tenían que volver a reubicar y recablear de forma individual cada una de las máquinas del proceso.

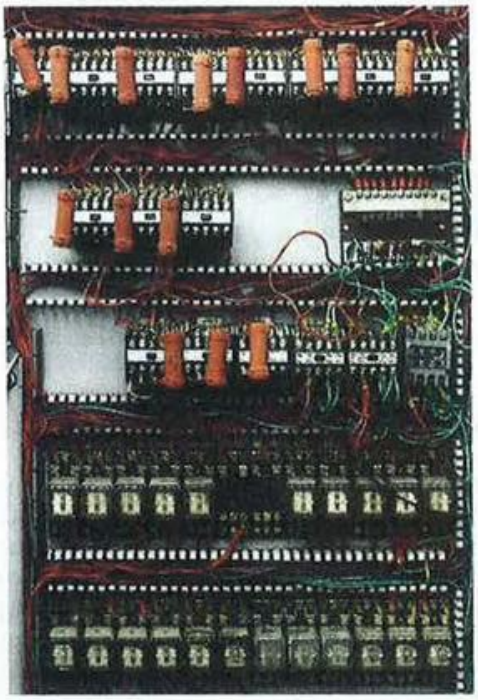


Figura 1.2. *En las antiguas instalaciones industriales basadas en lógica cableada, las tareas de mantenimiento resultaban muy complejas.*

Este fue el problema al que se enfrentó General Motors en sus industrias de fabricación de automóviles, las cuales usaban cientos o miles de relés, temporizadores de levas, secuenciadores de tambor y controladores de lazo cerrado. Pensaron en reducir costes en las instalaciones de lógica cableada debido a los continuos cambios de producción que se realizaban en la fabricación, y empezaron a buscar un **sistema de control económico, flexible y robusto**.

En 1968, la empresa Bedford Associates asumió la automatización de la planta industrial de General Motors, lo que derivó en el lanzamiento al mercado del **primer modelo de PLC** comercial: el MODICON 084, del cual se vendieron más de 1.000 unidades. El gran éxito del producto derivó en que saliese al mercado el MODICON 184, en 1973.

SABÍAS QUE

Otras empresas propusieron en la misma época esquemas basados en ordenadores como la PDP-8 (Programmed Data Processor) que fue la primera minicomputadora.

Actualmente, en los procesos de automatización, hay diferentes tipologías para poder llevar a cabo las tareas deseadas. En general, los sistemas de control utilizados son:

- **La lógica cableada:** mediante contactores, relés, temporizadores, contadores y dispositivos eléctricos y electromecánicos de características similares.

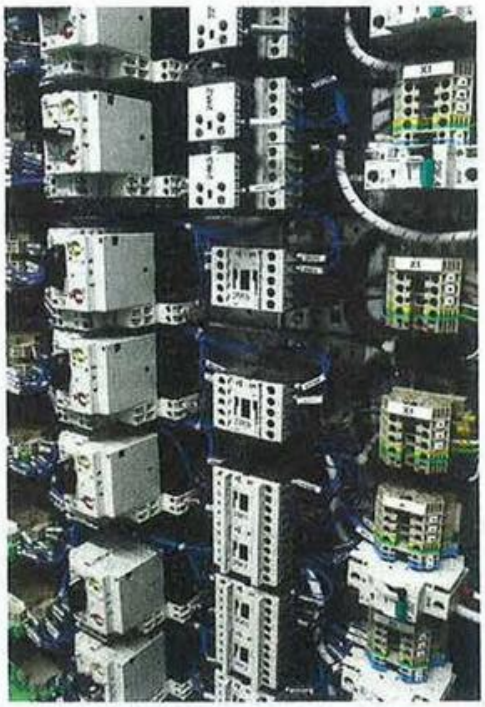


Figura 1.3. *Lógica cableada en la actualidad.*

- **Controladores monopastilla:** puede ser mediante microcontroladores (µC, MCU o UC), los cuales son circuitos integrados programables, que ejecutan las tareas grabadas en su interior, utilizados principalmente en electrónica de consumo como lavadoras, teléfonos, microondas y en sistemas en los cuales la parte operativa y la de mando van íntimamente unidas, como el sistema de control del motor de algunos automatismos industriales, el sistema de frenado ABS y similar.

  Los procesadores digitales de la señal (DSP) se utilizan cuando se tratan señales eléctricas para procesarlas y analizarlas tal y como ocurre en el campo de la instrumentación.

- **Reguladores digitales:** son reguladores PID compactos, los cuales permiten regular, por ejemplo, temperaturas, caudales de fluidos y parámetros similares en automatismos industriales. Las entradas son universales y al ser pequeños, caben en cualquier armario eléctrico. Se utilizan en procesos continuos como industrias petrolíferas, alimentarias, cemente-

ras, etc. Antes de utilizarse estos complicados procesos de regulación automática para todo el proceso, se empleaba un regulador digital en cada subtarea concreta.

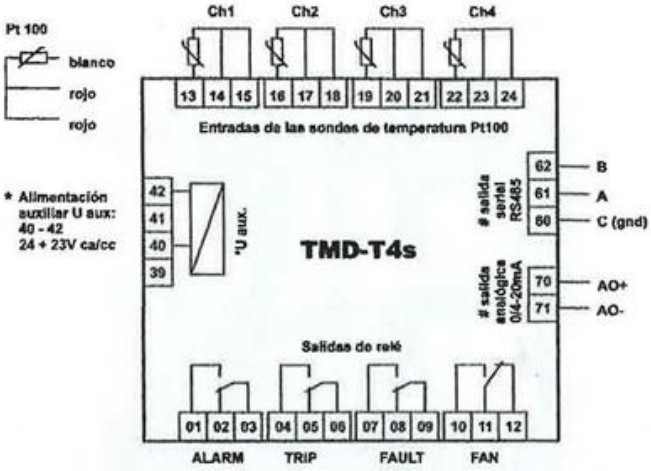


Figura 1.4. *Regulador PID. Centralita de control de temperatura de transformadores (alarma, disparo, falta y ventilación).*

- **Autómatas programables y relés programables:** un autómata programable, o **PLC**, es un dispositivo electrónico programado en lenguaje de alto nivel (cercano al usuario) y por tanto adecuado a la capacidad cognitiva humana, diseñado para realizar un proceso automático en tiempo real realizando tareas secuenciales o combinacionales, con temporizaciones, conteo y funciones aritmético-lógicas mediante entradas y salidas analógicas o digitales en condiciones de trabajo adversas.

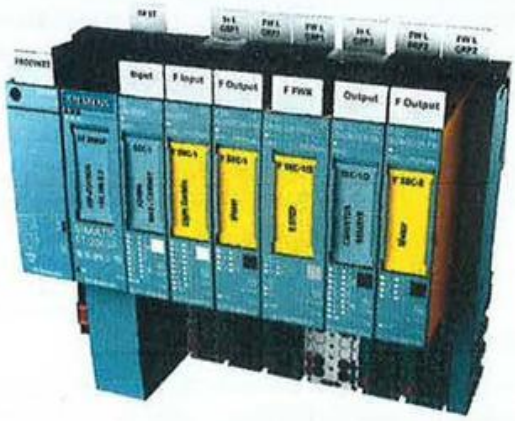


Figura 1.5. *Autómata programable. (Cortesía de Siemens.)*

Los PLCs se utilizan básicamente en el sector industrial, dada su enorme potencia, como en las cadenas de producción, control de robots y similares. La diferencia con los **relés programables**, también conocidos como módulos lógicos, es que estos se utilizan en automatización para el sector terciario y residencial (domótica, alumbrado de tiendas, control de automatismos de gestión energética en edificios y similar).

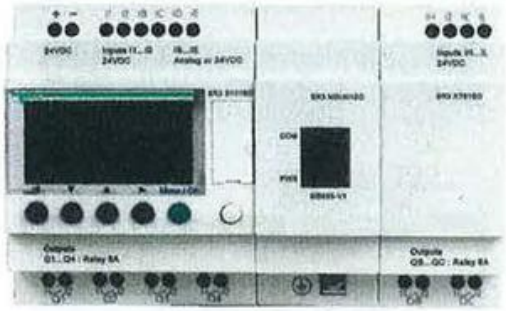


Figura 1.6. *Relé programable Zelio. (Cortesía de Schneider Electric.)*

- **PCs industriales:** un PC industrial es una plataforma informática para aplicaciones industriales. Se utilizan en el control de procesos y adquisición de datos dada su gran capacidad de cálculo, potencia de procesamiento y memoria. Debido a que su arquitectura es estándar a un PC, son de bajo coste pero además son más fiables y expansibles que los PCs domésticos.

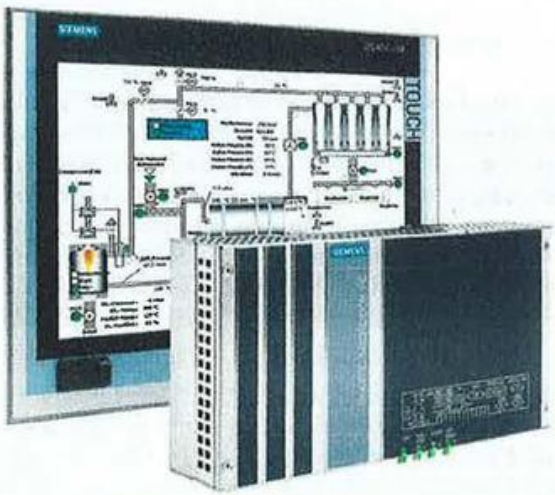


Figura 1.7. *PC SIMATIC. (Cortesía de Siemens.)*

Actividad propuesta 1.1

Enumera cinco ventajas que consideres que puedan estar asociadas de la automatización de los procesos industriales.

1.1.2. Comparativa entre las diferentes técnicas de automatización

A veces puede ser cuestionable si un PLC es necesario, siendo más apropiada la lógica cableada. Durante los últimos años, los precios de los PLCs han ido bajando, se reducen los tamaños y aumenta el rendimiento. Sin embargo, el diseñador antes de decantarse por uno u otro sistema, se tiene que hacer una serie de preguntas por si el uso del PLC es excesivo para su aplicación. Preguntas tales como: ¿Existe necesidad de flexibilidad en los cambios de la lógica de control?, ¿habrá cambios en la lógica de control con frecuencia o rápida modificación?

En muchas ocasiones, es más rentable una tarjeta programadora (controladora dedicada) como un *PID controller*, por ejemplo para el control de la temperatura de la calefacción. Tienen la ventaja de estar todo incluido en una sola placa, normalmente con pantalla LCD y botones. Esto es práctico para instalaciones sencillas tipo ascensores, escaleras mecánicas, etc. Hoy en día, los pequeños módulos lógicos (relés programables) compiten con las tarjetas controladoras, sobre todo si se necesita más de una. Los PLCs tienen mayor grado de flexibilidad debido a que se pueden programar en diferentes lenguajes y pueden manejar todo tipo de procesos.

A veces puede ser interesante utilizar un PC en lugar de un PLC. Los PCs industriales están disponibles, aunque su precio es más caro que los PLCs. Debido a que utilizan entorno Windows, son muy cómodos, pero tienen el inconveniente de no ser tan duros en condiciones adversas, las conexiones de entradas y salidas en el PC no son tan accesibles como en un PLC (en el que resulta sencillo cambiar o añadir componentes al tener bastidor), no son fáciles de expansionar y tienen problemas al trabajar en tiempo real produciéndose bloqueos.

No obstante, existen también híbridos de PLC/PC como por ejemplo el WinPLC, en el cual se unen las dos plataformas con los puntos fuertes de ambos. La CPU puede procesar Windows CE (Windows Embedded Compact) o Linux, que son sistemas operativos para realizar funciones específicas, los llamados sistemas embebidos, diferenciándose de los ordenadores personales de consumo que tienen un gran espectro de aplicaciones. Estos sistemas mixtos tienen un bastidor que puede aceptar módulos de entrada/salida (E/S) estándar.

A continuación se realiza un estudio comparativo entre las diferentes técnicas de automatización:

Tabla 1.1. Comparativa entre sistemas de automatización.

Sistema de control	Ventajas	Inconvenientes
Lógica cableada	• Económico si no hay previsión de cambio.	• Poca flexibilidad a pequeñas y grandes modificaciones.
PLC	• Perfecto en instalaciones que requieran flexibilidad y cambios en la lógica de control con frecuencia o necesidad temprana de modificación. • Si hay máquinas similares, es ideal ya que es cómodo de programar. • Fácilmente ampliable. • Alta fiabilidad (robustos). • Trabajan en condiciones adversas. • Es raro que se bloquee durante largos períodos de tiempo. • Programación basada en lógica de contactos, siendo muy familiar para los profesionales del sector eléctrico.	• Excesivo en instalaciones pequeñas. • Solo pueden ejecutar un programa a la vez en orden secuencial. • Capacidad de almacenamiento limitada frente al disco duro de un PC industrial.
PC industrial	• Entorno tipo Windows. Es cómodo, fácil y accesible para el técnico. • Al tener mayor capacidad que los PLCs, tiene mejor respuesta a manejar eventos reales al realizar tareas simultáneas. • Flexible y potente. • Lenguajes de programación fáciles, bloques de funciones, texto estructurado, etc. • Gran capacidad de almacenamiento de programa. • A largo plazo para almacenamiento es mejor que un PLC.	• Precio más elevado que los PLCs. • La conexión de E/S no es tan sencilla como en un PLC. • Limitación de número de tarjetas de expansión. • En tiempo real tiene problemas, bloqueándose. • Difícil comparar precios con tantas variables, como la cuenta de E/S, *software* de programación, etc.

Tabla 1.1. Comparativa entre sistemas de automatización *(continuación)*.

Sistema de control	Ventajas	Inconvenientes
Tarjetas controladoras (PID)	• Un solo dispositivo que incluye la pantalla LCD, botones, etc.	• Si se necesita más de una tarjeta controladora, los PLCs compiten en cuanto a precio. • Menos grado de flexibilidad que los PLCs al poderse programar en diferentes lenguajes y muchos procesos.
Soluciones propias	• Reducción de costes. • Construcción de manera rentable. • Ejemplo: Divelbiss.	• Menos flexibilidad que un PLC.

1.1.3. Fases de desarrollo de un sistema automático

A pesar de la gran variedad de sistemas de automatización existentes en el mercado, los de mayor aplicación en las instalaciones eléctricas industriales son los basados en lógica cableada y autómatas programables.

Para llevar a cabo el correcto desarrollo y elaboración de un sistema automático es necesario conocer previamente las especificaciones del proceso que se va a controlar, teniendo siempre muy en cuenta los requisitos económicos y el coste de cada solución planteada.

Resultará igualmente decisivo el tener en cuenta los equipos y materiales que formarán parte del automatismo verificando la calidad de los mismos, así como la disponibilidad y el coste de los posibles recambios.

Las fases del desarrollo completo de un sistema automático se muestran en el organigrama de la Figura 1.8, donde puede apreciarse que antes de seleccionar la opción más eficiente para la instalación es necesario valorar las necesidades del cliente y realizar uno o varios estudios previos, técnicos, económicos y funcionales, en los cuales se deben evaluar determinados parámetros como:

- Ventajas e inconvenientes de cada posible opción.
- Necesidad de ampliación del sistema.
- Vida útil del sistema.
- Coste y complejidad del mantenimiento.

Tras esto, **la fase clave** del desarrollo de un sistema automático es la elección entre la lógica cableada o la lógica digital, puesto que de esta decisión dependerán los materiales, componentes y equipos a adquirir e instalar, así como la documentación asociada a los mismos, la posible programación del sistema y la necesidad de formar en mayor o menor medida a los operarios de las instalaciones sobre el uso y funcionamiento de los procesos.

Figura 1.8. *Fases de desarrollo de un sistema automático.*

1.2. Estructura y componentes de las instalaciones de automatismos

Un sistema automatizado está constituido por los elementos y bloques funcionales que se muestran en la Figura 1.9:

1. **Red eléctrica.** Suministro trifásico de energía que puede proceder de:
   - Un centro de transformación de compañía, en industrias muy pequeñas.
   - Uno o varios transformadores propios (como ocurre en la mayoría de las industrias actuales).
2. Línea de entrada a la instalación eléctrica. Si procede de un transformador de compañía se denominará **derivación individual**.
3. **Cuadro general de baja tensión (CGBT) y cuadros y armarios secundarios.** Contienen los dispositivos de protección, maniobra y gestión del sistema automatizado (aparamenta eléctrica). En algunas instalaciones eléctricas industriales todos los dispositivos se encuentran alojados bajo una misma envolvente, pero lo más común es disponer armarios o cuadros independientes para los circuitos que alimentan a los receptores y para los circuitos de gestión y control.
4. **Zona de mando y control.** Aquí es donde los operarios interactúan con el sistema automatizado, a partir de mandos, pupitres o salas de operaciones. También es posible llevar a cabo una monitorización de los procesos.
5. **Sensores y detectores.** Son las entradas del sistema automatizado que se encargan de medir variables externas y enviar información captada en forma de señales eléctricas. Existen numerosos tipos de sensores, dependiendo del tipo de variables que son capaces de medir. Algunos ejemplos de sensores y detectores son: capacitivos, inductivos, magnéticos, de temperatura, de presión, de velocidad, de nivel, de posición, etc.
6. **Receptores y actuadores.** Son las salidas del sistema eléctrico. Los más comunes en instalaciones de automatismos industriales son los motores, resistencias, baterías de condensadores, electroválvulas, lámparas de señalización, células robotizadas, etc.
7. **Conductores eléctricos.** Encargados de transmitir la energía eléctrica o las señales de información entre los diversos componentes del sistema automatizado.

SABÍAS QUE

Es posible que algunos componentes de maniobra, como determinados sensores, utilicen tecnologías inalámbricas u ópticas en lugar de cableado eléctrico.

En las instalaciones de automatismos industriales, los conductores y circuitos eléctricos pueden dividirse en dos grupos:

- **Circuitos de fuerza:** los circuitos de fuerza o potencia son los encargados de suministrar energía eléctrica a los receptores del sistema automático (generalmente máquinas eléctricas rotativas).
- **Circuitos de maniobra:** los circuitos de maniobra, o circuitos de control, se encargan de alimentar a los sensores, detectores, electroimanes, mandos, pulsadores, temporizadores y demás componentes de gestión y su-

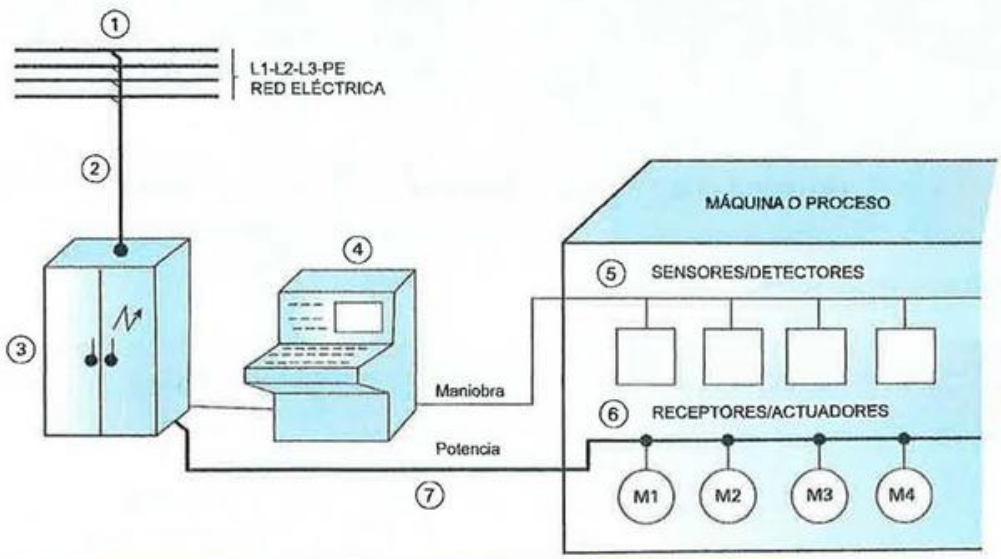


Figura 1.9. *Estructura de un sistema automático.*

pervisión de la instalación. Es sobre los circuitos de maniobra donde los operarios interactúan con el proceso.

El cableado de los circuitos de fuerza es independiente del cableado de los circuitos de maniobra, y ambos circuitos se interrelacionan mediante componentes eléctricos comunes a ambos, como contactores, relés térmicos y similares, tal como será estudiado en unidades posteriores del libro.

1.2.1. Tipos de sistemas automáticos

Existen básicamente dos formas de realizar el control automático de un proceso industrial: en bucle abierto y en bucle cerrado.

Los sistemas automáticos en **bucle abierto** se caracterizan porque la información que controla el proceso circula en una única dirección desde el sistema de control (Figura 1.10).

Los sistemas automáticos en **bucle cerrado** son aquellos en los que existe una comunicación entre el proceso y el sistema de control a través de sensores, lo que permite controlar el funcionamiento del mismo (Figura 1.11).

La mayoría de procesos existentes en las instalaciones industriales son controlados a través de sistemas de automatismos en bucle cerrado, dado que son mucho más eficientes y permiten ampliar las posibilidades de control sobre los procesos.

Actividad propuesta 1.2

Pon un ejemplo, justificando la respuesta, de un proceso automático en bucle cerrado y de un proceso automático en bucle abierto.

¿Cuál de los dos resultaría más sencillo de llevar a cabo? ¿En cuál de los dos sería más fácil añadir funciones o realizar modificaciones?

1.2.2. Aparamenta eléctrica

Se define como aparamenta eléctrica cualquier equipo o dispositivo perteneciente a un circuito eléctrico que cumple cualquiera de las siguientes funciones:

Tabla 1.2. Posibles aplicaciones de la aparamenta eléctrica.

Seccionamiento	Conexión	Protección	Control y medida

- **Seccionamiento:** la aparamenta de seccionamiento cumple la función de abrir y cerrar circuitos que se encuentran sin carga, es decir, cuando no circula intensidad por los conductores.
- **Conexión:** la aparamenta de conexión cumple la función de abrir y cerrar circuitos en los que no circula intensidad, o bien circula la intensidad de funcionamiento normal del sistema. Estos dispositivos son generalmente controlados por los operarios (componentes de mando). Algunos ejemplos: interruptores, pulsadores, contactores, relés, etc.
- **Protección:** la aparamenta de protección cumple la función de dejar fuera de servicio (abrir) los circuitos en los que las condiciones de funcionamiento normal se han visto alteradas y ha puesto en riesgo la integridad de las personas o de los componentes de la instalación. Estos dispositivos deben actuar de manera automática. Algunos ejemplos: cortacircuitos fusible, relé térmico, interruptor automático, interruptor diferencial, etc.
- **Control y medida:** la aparamenta de control y medida cumple la función de recoger las variables derivadas del proceso, bien para almacenar la información (medida), o para enviar dicha información en tiempo real al sistema de control, tal como ocurre en los

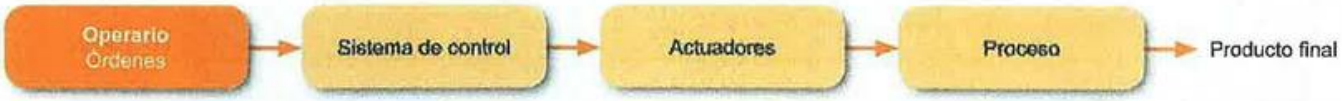


Figura 1.10. *Proceso automático en bucle abierto.*

Figura 1.11. *Proceso automático en bucle cerrado.*

automatismos en bucle cerrado. Algunos ejemplos: analizadores de redes, contadores, temporizadores, interruptores de posición, termostatos, etc.

Actividad propuesta 1.3

A lo largo del libro serán analizados todos los componentes considerados como *aparamenta eléctrica* asociados a las instalaciones de automatismos industriales.

No obstante, para evaluar tus conocimientos iniciales e ir familiarizándote con los dispositivos que forman los sistemas automáticos, a continuación debes realizar una clasificación de los elementos expuestos, dependiendo de la función que crees que desempeñan dentro de un circuito eléctrico:

a) Detector de proximidad.
b) Motor eléctrico.
c) Voltímetro.
d) Lámpara de señalización.
e) Interruptor de nivel.
f) Interruptor de tres posiciones.
g) Pulsador de paro de emergencia.
h) Contador de energía reactiva.
i) Resistencia eléctrica.
j) Fusible.
k) Contactor.
l) Sondas térmicas.
m) Programador horario.
n) Tacómetro.

1.3. Características de las instalaciones eléctricas industriales

Las instalaciones eléctricas, sean industriales o de cualquier otro tipo, pueden clasificarse en función de su nivel de tensión, de su uso y características o por su potencia.

La legislación actual establece que, **dependiendo del voltaje o nivel de tensión**, las instalaciones eléctricas pueden ser de dos tipos: instalaciones consideradas como de **baja tensión**, con un voltaje menor o igual a 1.000 V en corriente alterna o 1.500 V en corriente continua, o instalaciones consideradas como de **alta tensión** con un voltaje superior a 1.000 V en corriente alterna o 1.500 V en corriente continua.

Tabla 1.3. Clasificación de las instalaciones eléctricas en función de los niveles de tensión.

	Corriente alterna	Corriente continua
Instalaciones de baja tensión (BT)	$\leq 1.000\ V_{CA}$	$\leq 1.500\ V_{CC}$
Instalaciones de alta tensión (AT)	$> 1.000\ V_{CA}$	$> 1.500\ V_{CC}$

En la práctica, dentro del grupo de las instalaciones de corriente alterna, al ser el tipo de corriente más utilizada para su generación, transporte, distribución y consumo, se suelen clasificar las tensiones de una manera mucho más específica, tal y como se muestra en la Figura 1.12.

SABÍAS QUE

En algunas regiones de Europa, cerca de la frontera con Rusia, se utilizan tensiones de transporte cercanas a los 765 kV. En España, las líneas eléctricas de alta tensión no superan los 400 kV.

En lo que respecta al uso y características de una instalación eléctrica, las consideradas como de **baja tensión** son casi siempre de tipo receptoras, es decir, su finalidad es consumir la energía eléctrica para convertirla en trabajo útil. No obstante, también resulta posible encontrar insta-

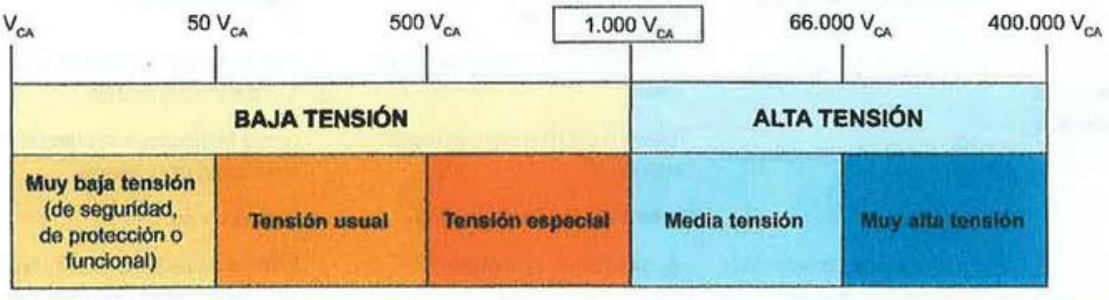


Figura 1.12. *Clasificación de los niveles de tensión de corriente alterna (V_{CA}).*

laciones de baja tensión cuya finalidad es la generación, distribución o almacenamiento de energía eléctrica, pero en pequeñas cantidades.

La clasificación de las instalaciones de **alta tensión** en base a su finalidad es mucho más compleja, puesto que pueden haber sido diseñadas para generar, transportar o distribuir la energía eléctrica en grandes cantidades, así como para transformar los niveles de tensión. También es posible encontrar instalaciones de alta tensión con una finalidad receptora, como es el caso de las grandes industrias que utilizan equipamiento y máquinas eléctricas de grandes dimensiones que funcionan a tensiones superiores a los 1.000 voltios.

En definitiva, atendiendo al **criterio de uso**, una posible clasificación de las instalaciones eléctricas es la que se muestra en la Tabla 1.4.

1.3.1. Estructura del sistema eléctrico

El conjunto de elementos que permiten transportar la electricidad desde los lugares en los que se genera hasta los lugares en los que se consume es lo que se conoce como **sistema eléctrico**. Desde una perspectiva general del sistema eléctrico nacional, este puede dividirse en cuatro grandes bloques funcionales o etapas: generación, transporte, distribución y consumo.

- **Generación:** está formada por un conjunto de plantas eléctricas que son las encargadas de generar electricidad mediante la transformación de otro tipo de energía. Por ejemplo, una central hidroeléctrica convierte la energía del agua en forma de potencial, que mediante generadores eléctricos se transforman en energía eléctrica. Las centrales suelen producir energía a una tensión entre 10 y 20 kV (kilovoltios).
- **Transporte:** es la parte de la red con mayor longitud de conductores al conectar desde la subestación elevadora de generación a la de distribución. Dado que la energía eléctrica tiene mayores pérdidas cuanto mayor sea la intensidad que circula por los conductores (efecto Joule), se eleva la tensión hasta 400 kV por medio de máquinas eléctricas llamadas transformadores y así disminuir la intensidad con objeto de transportar la energía eléctrica con las mínimas pérdidas posibles. La generación y transporte se realiza mediante sistemas trifásicos, precisamente porque entre otros factores esto permite utilizar tres conductores sin necesidad de retorno, ya que la suma fasorial de las tres intensidades es cero.

Tabla 1.4. Clasificación de las instalaciones eléctricas en función de su uso y características.

Nivel de tensión	Uso de la instalación	Características de la instalación	Tipo de instalación
Instalaciones de baja tensión (BT)	Instalaciones receptoras.	Puntos de consumo de energía eléctrica.	Puntos de consumo como viviendas, oficinas, **pequeñas y medianas industrias**, alumbrado exterior, etc.
	Instalaciones generadoras o de almacenamiento.	Suministro de energía eléctrica en pequeñas cantidades.	Instalaciones generadoras fotovoltaicas, grupos electrógenos, sistemas de almacenamiento ininterrumpido (SAI), etc.
	Instalaciones distribuidoras y de enlace.	Transferencia de energía en baja tensión.	Redes de distribución de energía en baja tensión, instalaciones de enlace, etc.
Instalaciones de alta tensión (AT)	Instalaciones receptoras.	Consumo de energía eléctrica en grandes cantidades.	**Grandes industrias**, medios de transporte ferroviarios, etc.
	Instalaciones generadoras.	Generación de energía eléctrica en grandes cantidades.	Centrales eléctricas.
	Instalaciones de transporte.	Transferencia de energía en muy alta tensión.	Líneas eléctricas de alta tensión para el transporte de la energía.
	Instalaciones de distribución.	Transferencia de energía en media tensión.	Líneas eléctricas de alta tensión para la distribución de la energía.
	Instalaciones de transformación, conversión o maniobra de la energía.	Conversión de energía de AT a AT.	Subestaciones.
		Seccionamiento y maniobra.	Centros de seccionamiento y centros de reparto.
		Conversión de energía de AT a BT.	Centros de transformación.

- **Distribución:** la distribución de energía eléctrica se realiza mediante transformadores reductores de tensión, con lo que la intensidad es más alta que en el transporte, pero es más manejable para distribuir a los puntos de consumo. Puede ser de dos tipos:
  - — **Suministros en alta tensión:** se trata de los clientes que dada su elevada potencia contratada necesaria para sus instalaciones (como pueden ser grandes industrias siderúrgicas, farmacéuticas, imprentas y similares), la compañía eléctrica les tarifica a un precio inferior que un usuario en baja tensión. Estos clientes se llaman abonados y se encargan de disponer en correctas condiciones y mantenimiento su centro o centros de transformación para reducir la tensión de suministro, que suele ser 15, 20 o incluso 66 kV, hasta 420 V, que tras las pérdidas producidas en el transformador llega a la instalación interior finalmente a 400 V.
  - — **Suministros en baja tensión:** son aquellos usuarios en los que la acometida de la compañía les suministra 400 V (ya que son las compañías suministradoras de energía eléctrica las que se encargan del correcto funcionamiento y mantenimiento de los transformadores). El precio de la energía medido en kWh es más elevado que en alta tensión. Es característico de suministros tales como pequeñas naves industriales, talleres, edificios de oficinas, garajes, viviendas y similares.

Cabe destacar que actualmente la energía eléctrica no se puede acumular en grandes cantidades, por lo que se debe generar en función de la demanda. La gestión de esta tarea se realiza por medio del mercado eléctrico a través de los **operadores de mercado**, los cuales se encargan de las transacciones diarias para que los productores de energía vendan la energía al mejor precio. En España, esta gestión está regulada por el OMEL (Operador de Mercado Eléctrico).

Por otro lado, el agente de sistema eléctrico que cumple la función de **operador de la red de transporte eléctrico** (para asegurar el correcto funcionamiento de la red de transporte de energía) es Red Eléctrica de España (REE).

1.3.2. Parámetros característicos de las instalaciones eléctricas en baja tensión

Como ya se ha definido, la generación, el transporte y la distribución de la energía se realiza mediante sistemas eléctricos trifásicos. Sin embargo, el consumo de energía puede realizarse en corriente continua (poco común), corriente alterna monofásica o corriente alterna trifásica.

Sistemas de corriente continua (CC)

El voltaje y el sentido de la corriente son constantes en todo momento. Se utilizan dos conductores que son denominados como **positivo** y **negativo**, y un conductor de protección (PE) para garantizar la seguridad, que será conectado a las masas metálicas de la instalación.

Los sistemas de corriente continua son utilizados generalmente en aplicaciones de pequeña potencia, aunque también resulta posible encontrar instalaciones de corriente de alta potencia, ya que hasta la aparición de la electrónica de potencia, los motores de corriente continua eran los únicos en los que podía variarse la velocidad de manera sencilla. Es por este motivo que actualmente algunas líneas de metro y tren siguen abasteciéndose en corriente continua.

Figura 1.14. *Representación de los conductores en corriente continua.*

Sistemas de corriente alterna monofásicos (CA)

El voltaje y el sentido de la corriente varían continuamente, formando ciclos con forma de onda senoidal. Las características básicas de la corriente alterna son: la frecuencia

Figura 1.13. *Esquema completo del sistema eléctrico nacional desde los puntos de generación hasta las zonas de consumo.*

(número de ciclos en un segundo), la tensión de pico (tensión máxima) y la tensión eficaz.

Figura 1.15. *Representación de los conductores en corriente alterna.*

Los circuitos eléctricos de corriente alterna se obtienen siempre a partir de un sistema trifásico, combinando una de las fases con el conductor neutro.

Sistemas trifásicos (3~)

Los sistemas trifásicos están formados por tres ondas de corriente alterna desfasadas 120 grados. Cada una de esas ondas se corresponde con un conductor de fase, denominados L1, L2 y L3.

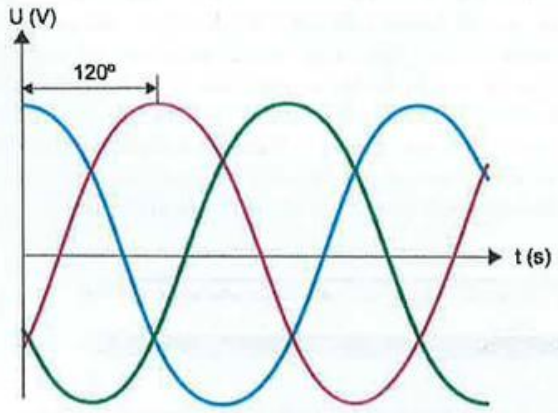


Figura 1.16. *Representación de las ondas de tensión en un sistema trifásico.*

Se pueden diferenciar dos configuraciones dentro de los sistemas trifásicos de baja tensión:

- **Red trifásica con conductor neutro distribuido:** consta de cinco conductores (L1, L2, L3, N y PE). A partir de estas redes se obtienen los sistemas monofásicos.
- **Red trifásica sin conductor neutro distribuido:** consta de cuatro conductores (L1, L2, L3 y PE). Desde esta red solo es posible alimentar a circuitos y cargas trifásicos.

SABÍAS QUE

En un sistema trifásico equilibrado, el conductor neutro, aunque sea considerado un conductor activo, no debe tener tensión en condiciones normales ni tampoco debe circular intensidad por él. En caso contrario, el sistema estará **desequilibrado**, lo que podría ser causa de sobretensiones y sobrecargas en el circuito eléctrico.

Tensiones de servicio

La mayoría de los transformadores de distribución que abastecen a los lugares de consumo tienen el bobinado secundario del transformador con el neutro accesible (conexión en estrella o zigzag).

De esta manera, desde el centro de transformación salen cuatro conductores activos, tres fases y un neutro, que dan la posibilidad de obtener dos tensiones de consumo:

- **Tensión de línea (U_L):** es la tensión existente entre los conductores activos (L1, L2 y L3).

  También se conoce como tensión compuesta, tensión de red o tensión entre fases.

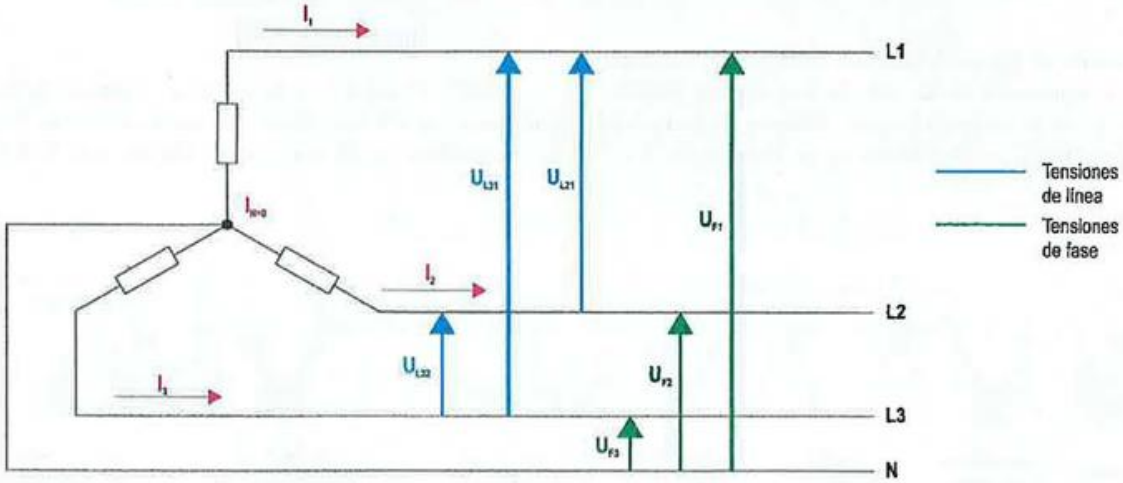


Figura 1.17. *Esquema simplificado de la red de distribución en BT.*

En la mayoría de las redes de distribución de baja tensión tiene un valor de **400 V_{CA}**.

- **Tensión de fase (U_F):** es la tensión existente entre cualquiera de los conductores activos (L1, L2 y L3) y el conductor neutro (N). También se conoce como tensión simple o tensión fase-neutro. En la mayoría de las redes de distribución de baja tensión tiene un valor de **230 V_{CA}**.

$$U_F = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$$

Aunque no resulta muy frecuente, existen instalaciones cuyas tensiones de servicio no se corresponden con los 400 V_{CA} de tensión de línea y 230 V_{CA} de tensión de fase. Las tensiones normalizadas para las redes de distribución de energía en baja tensión en España son las siguientes:

Tabla 1.5. Tensiones de servicio de las redes de BT.

Tensión de línea (V_{CA})	Tensión de fase (V_{CA})	Denominación de la red
230	133	133/230
400	230	230/400
690	400	400/690
1.200 (alta tensión)	690	690/1.200

Intensidad de línea (A)

Es la intensidad de corriente que circula por los conductores de alimentación del sistema eléctrico. Depende, de manera proporcional, de la carga conectada, ya que cuanta más potencia demanda una carga mayor intensidad requiere para su funcionamiento. Existe también la denominada intensidad de fase, que equivaldría a la corriente que circula por el interior de los receptores eléctricos conectados en sistemas trifásicos.

Frecuencia de la red (Hz)

Es el número de ciclos de la onda de corriente alterna por segundo. Las redes eléctricas de corriente alterna en toda Europa prestan servicio a una frecuencia de 50 Hz.

SABÍAS QUE

Existen instalaciones de baja tensión consideradas de **gran intensidad.** Son aquellas en las que la corriente eléctrica de servicio puede llegar a alcanzar valores entre 1.500 y 6.000 A.

1.3.3. Esquemas en redes de distribución

Para la determinación de las características de las medidas de protección en las instalaciones eléctricas, así como de las especificaciones de la aparamenta encargada de tales funciones, será preciso tener en cuenta el tipo de esquema de distribución empleado.

Los diferentes esquemas de distribución se definen en función de las conexiones a tierra del neutro de la alimentación, por un lado, y de las masas de la instalación receptora, por otro.

La denominación de estos esquemas se realiza con un código de dos o tres letras con el significado siguiente:

- **Primera letra:** situación de la alimentación con respecto a tierra.
- **Segunda letra:** situación de las masas de la instalación receptora con respecto a tierra.
- **Tercera letra (solo en esquemas TN):** situación relativa del conductor neutro y del conductor de protección.

Tabla 1.6. Denominación de los esquemas de distribución de energía.

Primera letra	T	Conexión directa de un punto de la alimentación a tierra.
	I	Aislamiento de todas las partes activas de la alimentación con respecto a tierra o conexión de un punto a tierra a través de una impedancia.
Segunda letra	T	Masas conectadas directamente a tierra, independientemente de la eventual puesta a tierra de la alimentación.
	N	Masas conectadas directamente al punto de la alimentación puesto a tierra (en corriente alterna, normalmente será el punto neutro).
Tercera letra	S	Las funciones de neutro y de protección, aseguradas por conductores separados (conductor N + conductor PE).
	C	Las funciones de neutro y de protección, combinadas en un solo conductor (conductor CPN o PEN).

En base a la denominación anterior, es posible encontrar cinco tipos de esquemas distintos:

Esquema TT

Es el esquema más utilizado en las instalaciones eléctricas de baja tensión. Un punto de la fuente de alimentación se conecta directamente a tierra, y todas las partes conductoras accesibles de la instalación eléctrica receptora se conectan a una toma de tierra independiente.

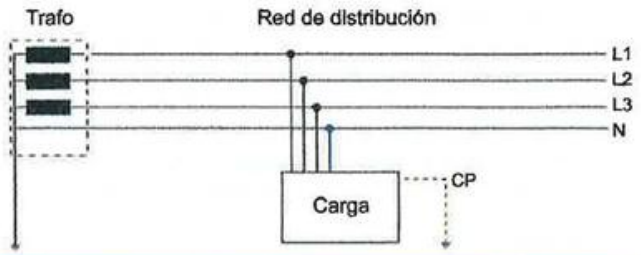


Figura 1.18. *Esquema TT.*

Esquema IT

No se realiza ninguna conexión entre el punto neutro de la fuente de alimentación y tierra, o se establece una conexión a través de impedancia. Las partes conductoras accesibles (masas) de la instalación eléctrica receptora se conectan a una toma de tierra. En este tipo de esquema se recomienda no distribuir el conductor neutro.

Figura 1.19. *Esquema IT.*

Esquema TN-S

Tienen el punto neutro de la fuente de alimentación conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas al mismo punto mediante conductores de protección. El conductor neutro y el conductor de protección son distintos en todo el esquema.

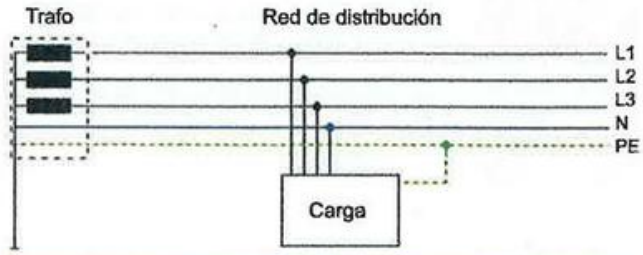


Figura 1.20. *Esquema TN-S.*

Esquema TN-C

Tienen el punto neutro de la fuente de alimentación conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas al mismo punto mediante conductores de protección. Las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor en todo el esquema.

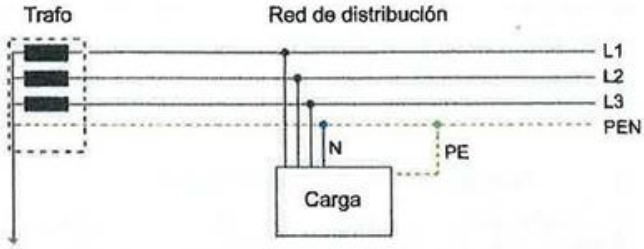


Figura 1.21. *Esquema TN-C.*

Esquema TN-C-S

Tienen el punto neutro de la fuente de alimentación conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas al mismo punto mediante conductores de protección. Las funciones de neutro y protección están combinadas en un solo conductor, pero en solo un tramo del esquema.

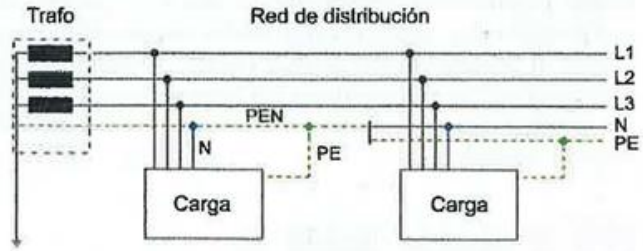


Figura 1.22. *Esquema TN-C-S.*

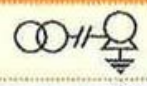
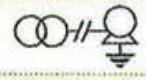
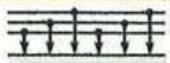
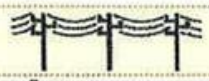
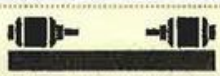
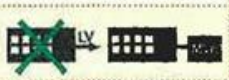
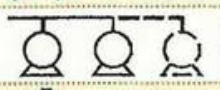
Selección de esquemas de distribución

La selección de un determinado esquema de distribución no depende directamente de los criterios de seguridad, ya que los cinco esquemas son igual de seguros si se cumplen todas las normas de instalación y uso de los equipos y materiales eléctricos en cada caso.

Los criterios para la elección del tipo de esquema más adecuado se basan en las condiciones de funcionamiento de la red, las características de las cargas, los requisitos normativos, los requisitos de la compañía distribuidora de energía y la continuidad del suministro.

En la Tabla 1.7 se especifican los esquemas de distribución más adecuados en función de las redes y las cargas, diferenciando entre el tipo de esquema más recomendado en cada caso, los esquemas alternativos y los esquemas que no deberían ser utilizados.

Tabla 1.7. Influencia de las redes y las cargas en la selección de los esquemas de distribución de neutro y masas. (Cortesía de Schneider Electric.)

Tipo de red	Recomendado	Posible	No recomendado
Red muy extensa con electrodos de tierra de alta calidad (10 Ω máx.) 		TT, TN, IT o mixta	
Red muy extensa con electrodos de tierra de baja calidad (> 30 Ω) 	TN	TN-S	IT TN-C
Zona con perturbaciones (tormentas) (p. ej., transmisor de televisión o radio)	TN	TT	IT
Red con corrientes de fuga altas (> 500 mA) 	TN	IT TT	
Red con líneas aéreas al aire libre 	TT	TN	IT
Generador auxiliar de emergencia	IT	TT	TN
Tipo de cargas			
Cargas sensibles a corrientes de defecto elevadas (motores, etc.)	IT	TT	TN
Cargas con un nivel de aislamiento bajo (hornos eléctricos, soldadoras, elementos de caldeo, etc.)	TN	TT	IT
Numerosas cargas monofásicas fase-neutro (móviles, semifijas, portátiles)	TT TN-S		IT TN-C
Cargas que presentan riesgos considerables (montacargas, cintas transportadoras, etc.)	TN	TT	IT
Numerosos elementos auxiliares (máquinas-herramienta) 	TN-S	TN-C IT	TT
Varios			
Suministro a través de un transformador de energía conectado en estrella-estrella	TT	IT sin neutro	IT con neutro
Instalaciones que presentan un riesgo de incendio	IT	TN-S TT	TN-C
Aumento del nivel de alimentación del servicio público de suministro de BT, que requiere un CT privado 	TT		
Instalación sometida a modificaciones frecuentes 	TT		TN IT
Instalaciones en las que la continuidad de los circuitos de tierra es inestable (obras, instalaciones antiguas)	TT	TN-S	TN-C IT
Equipos electrónicos (ordenadores, autómatas)	TN-S	TT	TN-C
Red de control y supervisión de maquinaria, sensores de autómatas y accionadores	IT	TN-S, TT	

1.3.4. Reparto de cargas

En los sistemas eléctricos trifásicos, todas las cargas deben encontrarse repartidas de la forma más **equilibrada** posible entre las tres fases, de manera que la intensidad que circule por cada una de las líneas de alimentación sea prácticamente la misma. Es muy importante, en consecuencia, realizar un **reparto de cargas** adecuado que garantice que las potencias, tensiones e intensidades de todas las líneas estén compensadas.

Para obtener un sistema correctamente equilibrado, los receptores trifásicos se conectarán a las tres fases (y neutro cuando sea necesario), mientras que la conexión de los circuitos y receptores monofásicos debe realizarse con mayor cuidado, **repartiendo equilibradamente** cada una de las fases con su respectivo conductor neutro compensando las potencias (véase Figura 1.23).

De no respetarse este requisito, se obtendría un sistema trifásico desequilibrado, *o desbalanceado*, en el cual se producirán anomalías de funcionamiento que podrían ocasionar problemas tales como:

- Sobrecalentamiento del conductor neutro.
- Distorsión armónica.
- Aumento de las caídas de tensión.
- Daños en los receptores.
- Disparo intempestivo de los interruptores diferenciales.

SABÍAS QUE

Existen también cargas bifásicas, que se conectarán de manera equilibrada entre dos de las tres fases. Este tipo de cargas, no obstante, son muy poco comunes. Por ejemplo, algunos motores especiales o los desfibriladores se alimentan de manera bifásica.

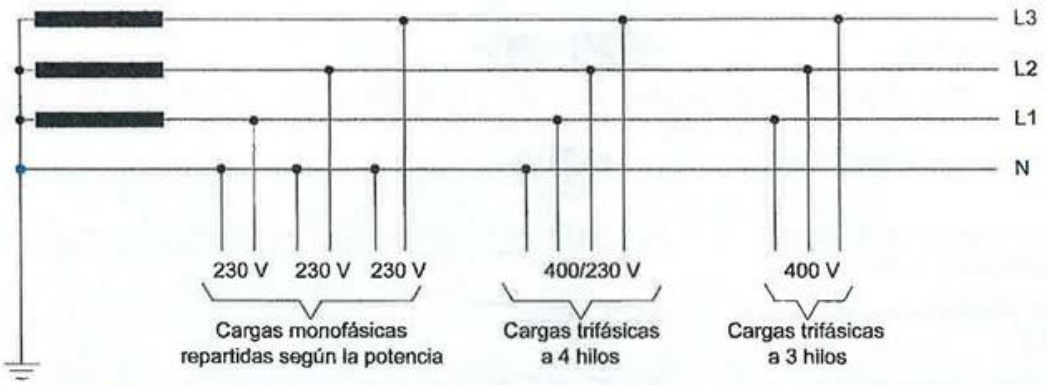
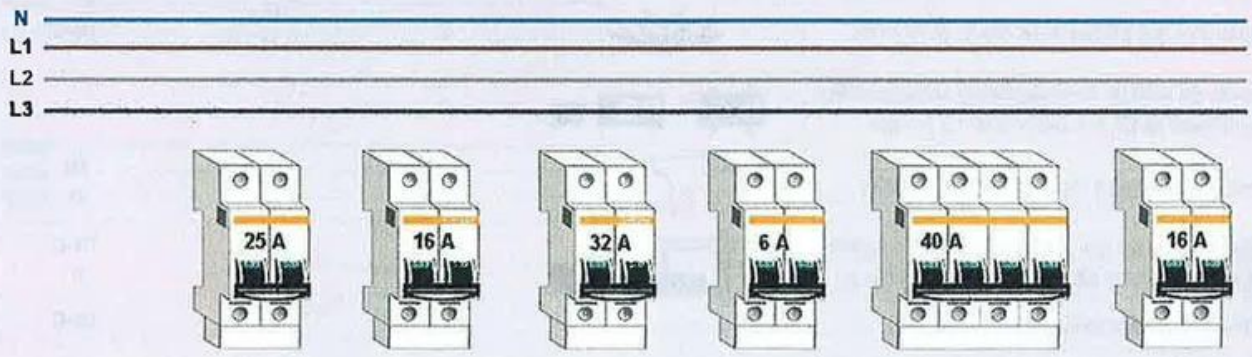


Figura 1.23. *Reparto de cargas en un sistema trifásico 230/400 V.*

Actividad propuesta 1.4

A continuación se muestra un grupo de interruptores automáticos domésticos de distinta intensidad nominal. Tu trabajo consiste en repartir los distintos conductores de fase y el neutro entre los interruptores para que el sistema quede lo más equilibrado posible.



1.4. Legislación y normativa de aplicación

El conjunto de criterios, instrucciones y especificaciones aplicables a una determinada materia o actividad, como es el caso de las instalaciones eléctricas, se establecen en una serie de textos y documentos de diversa índole cuya aplicación puede ser obligatoria o voluntaria.

El origen de estos documentos proviene de dos posibles entornos, el *legislativo* y el *normativo*.

1.4.1. El entorno legal

Abarca todos aquellos documentos que en forma de disposiciones legales poseen un **ámbito de aplicación obligatorio**.

En España, dichas disposiciones son aprobadas por el Estado, las comunidades autónomas, las delegaciones provinciales o los municipios y pueden ser redactadas en forma de Directiva, Ley, Ley Orgánica, Decreto, Real Decreto, Real Decreto-Ley, Reglamento, Instrucción, Orden y Ordenanza.

Figura 1.24. *Figuras políticas que componen el entorno legal.*

Las disposiciones legales son de aplicación obligatoria en todos los documentos elaborados e instalaciones ejecutadas con posterioridad al día de su entrada en vigor, que puede ser el mismo día de su publicación o en un día posterior concreto que debe ser anunciado en el contenido de la propia disposición.

Citando un ejemplo, el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión fue publicado en un Real Decreto en agosto del año 2002. Dada su complejidad y la gran cantidad de cambios establecidos respecto al Reglamento anterior, se estableció que su entrada en vigor fuese el 19 de septiembre de 2002 con carácter *voluntario*, y el 19 de septiembre 2003 con carácter *obligatorio*.

Siempre que por un determinado motivo justificado, no resultase posible ajustarse en su totalidad al contenido de una determinada disposición legal, el responsable de la ejecución de la instalación eléctrica debe presentar ante el Organismo Competente (generalmente la Delegación Provincial de Industria), una **solicitud de excepción** a la disposición legal o reglamento correspondiente, que debe ser aprobada antes de la fecha de comienzo de los trabajos.

1.4.2. El entorno normativo

Tienen la consideración de norma todos aquellos documentos editados por un Organismo de Normalización reconocido y cuyo **ámbito de aplicación es voluntario**. En determinadas ocasiones puede suceder que las disposiciones legales hagan referencia a una o varias normas determinadas, haciendo en ese caso su cumplimiento obligatorio.

Los Organismos de Normalización existentes en la actualidad que afectan a las instalaciones electrotécnicas se muestran en la Tabla 1.8.

La Organización Internacional de Normalización (ISO) es la entidad encargada de favorecer la normalización en el mundo. Es una federación de organismos nacionales con oficinas que actúan como delegadas en cada país (AENOR en España, DIN en Alemania, AFNOR en Francia, etc.) con unos comités técnicos que llevan a término las normas. Su creación surge de la necesidad de dar más eficacia a las normas nacionales.

La finalidad de las normas ISO es orientar, coordinar, simplificar y unificar los usos para conseguir menores costes y efectividad.

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) posee unas características análogas a las indicadas por la Organización Internacional de Normalización, solo que en este caso las normas creadas se incluyen exclusivamente en el entorno de las competencias eléctricas.

Gran parte de las normas internacionales IEC, se transponen a normas europeas EN y posteriormente a normas españolas UNE-EN.

Figura 1.25. *Proceso de transposición de normas internacionales a normas españolas.*

Tabla 1.8. Principales Organismos de Normalización.

	De competencias generales	De competencias eléctricas	De competencias en telecomunicaciones
Ámbito internacional	ISO Organización Internacional de Normalización	IEC Comisión Electrotécnica Internacional	ITU Unión Internacional de Telecomunicaciones
Ámbito europeo	CEN Comité Europeo de Normalización	CENELEC Comité Europeo de Normalización Electrotécnica	ETSI Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
Ámbito nacional	AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación		

1.4.3. Normativa y reglamentación aplicables a las instalaciones eléctricas de baja tensión

El entorno legal y normativo aplicable a las instalaciones electrotécnicas es muy extenso, lo que hace muy complicado realizar un estudio en profundidad de todas las disposiciones en vigor. A continuación se darán a conocer las normas, leyes y reglamentos que afectan más directamente a las instalaciones eléctricas, de las que forman parte las instalaciones de automatismos industriales.

Todos los documentos expuestos a continuación derogan a sus precedentes, así como a cualquier texto de igual o inferior rango que contradiga o se oponga a lo establecido en los mismos.

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-BT-01 a ITC-BT-51

Aprobado por el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, y modificado en gran medida por la **Ley Ómnibus** (Real Decreto 560/2010, de 7 de mayo). Concretamente, en el artículo séptimo modifica el REBT en lo referente al libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, **de obligado cumplimiento**, establece los requisitos específicos que debe cumplir una instalación eléctrica de baja tensión ($U < 1.000\ V_{CA}$ y $< 1.500\ V_{CC}$), en lo que respecta a sección de los conductores, métodos de montaje, diámetro de los tubos y canalizaciones, potencia prevista, características de las protecciones, etc.

SABÍAS QUE

En la actualidad, ya se ha redactado la nueva ITC-BT-52 del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, referente a la infraestructura para la recarga de vehículos eléctricos y electrolineras.

Guía técnica de aplicación al REBT

La guía de interpretación del Ministerio de Ciencia y Tecnología de aplicación del REBT, publicada inicialmente en septiembre de 2003 y ampliada posteriormente, tiene como objetivo facilitar la comprensión y aplicación práctica de las exigencias establecidas por el Reglamento y sus instrucciones técnicas complementarias. Ha sido elaborada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología en consonancia con expertos y entidades más representativas del sector eléctrico. Al tratarse de una guía, posee un **carácter orientativo no obligatorio**.

Reglamento de Eficiencia energética en instalaciones de Alumbrado Exterior (REAE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias EA-01 a EA-07

Aprobado por el Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, establece los requisitos técnicos y documentales que deben cumplir las instalaciones de alumbrado exterior. Dichas instalaciones, siempre que su potencia instalada sea superior a 1 kW, deben ser objeto de ciertos cálculos definidos en el reglamento y encontrarse dentro de los límites establecidos por él, los cuales determinan la calificación energética de dicha instalación.

1.4.4. Otras normas y disposiciones legales de aplicación en las instalaciones de automatismos industriales

Resulta también necesario conocer y tener en cuenta toda la legislación y normativa referente al sector eléctrico general, al sector de las telecomunicaciones y al sector industrial. Las disposiciones más relevantes que cubren este aspecto son las siguientes:

- Ley del Sector Eléctrico (Ley 54/1997, de 27 noviembre). Es aplicable a todas las instalaciones eléctricas tanto en baja como en alta tensión.
- Real Decreto 1955/2000, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Código Técnico de la Edificación (CTE) y documentos básicos DB HE, DB HR, DB HS, DB-SUA, DB SI y DB SE. El Código Técnico de la Edificación establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de ahorro de energía, protección frente al ruido, seguridad de utilización y accesibilidad, salubridad, seguridad en caso de incendio y seguridad estructural establecidos.
- Reglamento regulador de las Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones (RICT) para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de las edificaciones (Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo, Orden ITC/1644/2011, de 10 de junio).
- Reglamento regulador de la actividad de instalación y mantenimiento de equipos y sistemas de telecomunicación (Real Decreto 244/2010, de 5 de marzo, Orden ITC/1142/2010, de 29 de abril).
- Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI), especialmente en los artículos que hacen referencia a las características que deben cumplir ciertas instalaciones eléctricas (Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre).
- Norma UNE-EN 61131-1, sobre autómatas programables.
- Norma UNE 60947-4-1, sobre aparamenta de baja tensión.
- Norma UNE 60439-4-1, sobre conjuntos montados de aparamenta.
- Norma UNE 21811, sobre aparamenta industrial de baja tensión.
- Norma UNE 20801-1, sobre compatibilidad electromagnética para los equipos de medida y control de los procesos industriales.

RECUERDA

Pueden resultar también de aplicación otras normas, disposiciones, directivas o actas propias de la comunidad autónoma, provincia o municipio donde va a ser realizada la instalación, así como los requisitos internos y protocolos de las compañías que suministran la energía eléctrica.

Todos los reglamentos y normativas que han sido citados en este apartado deben tenerse en cuenta en el campo de las instalaciones eléctricas industriales, siendo conscientes de que este ámbito de trabajo se encuentra en constante cambio, por lo que es necesario conocer las nuevas disposiciones posteriores a la fecha de publicación de los reglamentos y que son emitidas para complementar o actualizar sus contenidos, entre las que destacan Reales Decretos y Órdenes cuya finalidad es la corrección de errores y erratas, actualizaciones puntuales, etc.

Actividades de comprobación

1.1. ¿Cuál de los siguientes términos no se corresponde con un sistema de control industrial?
- a) PC industriales.
- b) Autómata programable (PLC).
- c) Reguladores PDI compactos.

1.2. ¿Qué empresa realizó y comercializó el primer modelo de PLC, denominado MODICON 084?
- a) Bedford Associates.
- b) General Motors.
- c) Schneider Electric.

1.3. ¿Cómo se denomina a parte de un sistema automático en la que los operarios interactúan con el sistema automatizado a partir de mandos, pupitres o salas de operaciones?
- a) Cuadro general de baja tensión.
- b) Zona de sensores y detectores.
- c) Zona de mando y control.

1.4. Los elementos que se encargan de medir variables externas y enviar información captada en forma de señales eléctricas se denominan:
- a) Actuadores.
- b) Sensores.
- c) Conductores eléctricos.

1.5. Los circuitos encargados de suministrar energía eléctrica a los receptores del sistema automático, generalmente máquinas eléctricas rotativas, se denominan:
- a) Circuitos de maniobra.
- b) Circuitos de potencia.
- c) Circuitos de energía.

1.6. ¿Cuál es la tensión habitual de fase en un sistema eléctrico trifásico con neutro distribuido?
- a) 230 V.
- b) 400 V.
- c) 690 V.

1.7. La aparamenta cuya función es la conexión no puede:
- a) Abrir o cerrar circuitos en carga.
- b) Abrir o cerrar circuitos sin carga.
- c) Abrir circuitos en condiciones anormales de funcionamiento.

1.8. La aparamenta eléctrica cuya función es la de abrir y cerrar circuitos cuando no circula intensidad por los conductores se denomina:
- a) Aparamenta de protección.
- b) Aparamenta de conexión.
- c) Aparamenta de seccionamiento.

1.9. Una instalación cuya tensión de funcionamiento es de 1.000 V_{CC} se denomina:
- a) Instalación eléctrica de baja tensión.
- b) Instalación eléctrica de alta tensión.
- c) Instalación eléctrica de media tensión.

1.10. Una instalación cuya tensión de funcionamiento es de 1.000 V_{CA} se denomina:
- a) Instalación eléctrica de baja tensión.
- b) Instalación eléctrica de alta tensión.
- c) Instalación eléctrica de media tensión.

1.11. Las instalaciones industriales se abastecen de energía eléctrica:
- a) Siempre en baja tensión.
- b) Siempre en alta tensión.
- c) En alta o baja tensión, dependiendo del tamaño y la potencia consumida.

1.12. Selecciona la opción incorrecta, relacionada con las tensiones características de los sistemas trifásicos:
- a) $U_L = 1{,}73 \times U_F$
- b) $U_L = U_F/\sqrt{3}$
- c) $U_F = U_L/\sqrt{3}$

1.13. ¿Cuál es la frecuencia de una instalación eléctrica de corriente continua?
- a) 50 Hz.
- b) 5 Hz.
- c) Ninguna respuesta es correcta.

1.14. Los documentos editados por un Organismo de Normalización reconocido y cuyo ámbito de aplicación en algunos casos puede ser voluntario, se denominan:
- a) Leyes.
- b) Normas.
- c) Decretos.

ACTIVIDADES FINALES

Actividades de aplicación

1.1. Define brevemente los siguientes conceptos:

a) Automatización.

b) Automática.

c) Automatismos industriales.

d) Automatización industrial.

1.2. Enumera los sistemas de control más generalizados de aplicación en los procesos industriales.

1.3. ¿En qué se diferencian básicamente la lógica cableada y la lógica digital? ¿Cuáles son las principales ventajas que presenta la lógica cableada frente a los PLCs?

1.4. ¿Qué diferencias existen entre un autómata programable y un relé programable?

1.5. Enumera las fases de desarrollo de un proyecto de automatización basado en lógica digital.

1.6. Indica las características que definen a los circuitos de fuerza y los circuitos de maniobra. ¿Qué relación existe entre el cableado de ambos circuitos?

1.7. Enumera las cuatro posibles funciones que pueden realizar los dispositivos eléctricos considerados como aparamenta eléctrica.

1.8. Realiza la clasificación práctica de los diferentes niveles de tensión de corriente alterna.

1.9. ¿Por qué crees que a la tensión en corriente alterna que se encuentra entre 50 y 500 voltios se le denomina *tensión usual*?

1.10. ¿Por qué motivo el transporte de la energía eléctrica se realiza en alta tensión?

1.11. ¿Qué diferencias existen entre los sistemas eléctricos de corriente alterna monofásicos y los trifásicos? ¿Qué relación hay entre los mismos?

1.12. Enumera las posibles tensiones de servicio que podemos encontrar en las redes eléctricas de baja tensión.

1.13. ¿Cuál es el sistema de distribución de neutro y masas más utilizado en las instalaciones eléctricas de baja tensión? ¿Cuáles son las características fundamentales que lo definen? ¿Qué otros sistemas conoces?

1.14. Explica en qué consiste el reparto de cargas en una instalación eléctrica trifásica.

1.15. Enumera las figuras políticas que componen el entorno legislativo, ordenándolas de manera jerárquica. Indica, asimismo, los posibles tipos de disposiciones legales que pueden redactar.

1.16. ¿Para qué sirve la Guía técnica de aplicación al REBT? ¿Qué función desempeña? Indica si se trata de un documento de obligado cumplimiento o posee carácter voluntario.

Casos prácticos

1.1. En el entorno de los automatismos industriales, se utiliza el término SCADA para referirse a un sistema que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia.

Busca información en internet sobre estos sistemas SCADA y define sus principales características y las ventajas que puede ofrecer su implementación en un proceso industrial.

1.2. Realiza un esquema gráfico de un proceso automático en bucle abierto que se te ocurra, definiendo todos los dispositivos que deben actuar en él. A continuación, sobre ese mismo proceso, añade las etapas y dispositivos correspondientes para transformarlo en un proceso automático de bucle cerrado.

1.3. Con el objetivo de ir ampliando tu conocimiento sobre el mundo de los automatismos industriales y sus componentes asociados, avanza hasta la siguiente unidad y realiza un breve listado de todos los dispositivos que serán estudiados, indicando en cada caso la función que cumplen dentro de un circuito eléctrico de entre estas posibilidades: seccionamiento, conexión, protección, control y medida u otras funciones.

Guarda el listado que has realizado, puesto que te servirá para consultas futuras y te ayudará a entender mucho mejor los contenidos de la asignatura.

1.4. Asocia cada uno de los siguientes tipos de instalaciones eléctricas dentro de los rangos de tensión propuestos en los que suelen encontrarse normalmente.

Nivel de tensión:

Hasta 400 V	400 V - 5.000 V	5.000 V - 66.000 V	Más de 66.000 V

Tipo de instalación:

a) Línea de entrada de un centro de transformación.
b) Línea de transporte de energía.
c) Línea de salida de un centro de transformación.
d) Instalación de alumbrado público.
e) Instalación para industria en alta tensión.
f) Central hidroeléctrica.

1.5. La generación y consumo de la energía eléctrica se realiza en tiempo real, es decir, toda la energía que se genera debe ser consumida en el mismo momento. La previsión y monitorización de estos flujos de electricidad la lleva a cabo Red Eléctrica de España, y puede ser consultada por cualquier persona a través de su página web.

Entra en la siguiente página web: https://demanda.ree.es/demanda.html y podrás visualizar la demanda y generación de energía en tiempo real (en MW y en valor porcentual) del sistema eléctrico nacional. A continuación responde a las siguientes preguntas:

a) ¿Cuáles son las principales fuentes de generación de energía eléctrica en España?
b) ¿A qué hora se produce el mayor consumo energético?
c) ¿Cuál es la energía eléctrica media consumida (en kW) en nuestro país?

1.6. Localiza las disposiciones legales y normas que podrás encontrar en la página web de la editorial (www.paraninfo.es). Descarga las que puedas considerar de mayor interés, especialmente la Guía Técnica de aplicación al REBT, ya que te resultará muy útil como manual de consulta para llevar a cabo la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos a lo largo del libro.

1.7. Identifica los dispositivos presentes en la imagen siguiente, correspondiente a la instalación eléctrica en un cuadro general de baja tensión (CGBT).

Realiza un reparto de cargas lo más equilibrado posible entre las tres fases del sistema y entre los interruptores diferenciales.

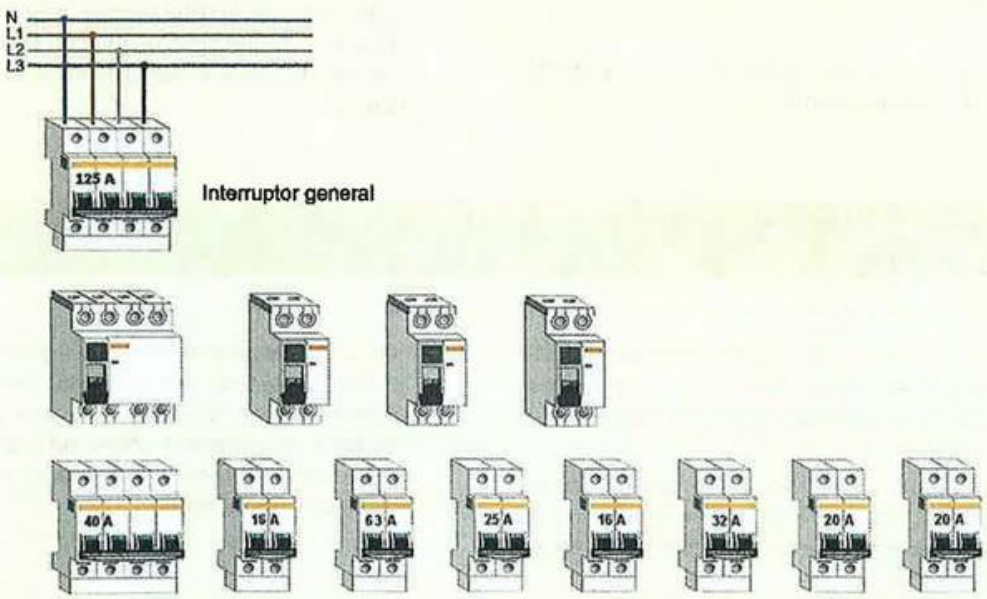
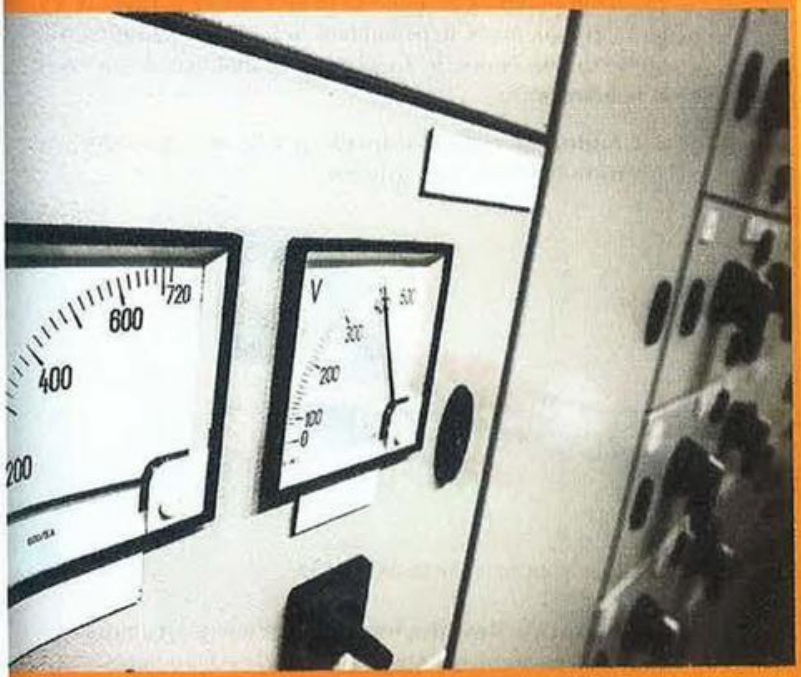


Figura 1.26. *Dispositivos de protección de un cuadro general.*

Componentes de las instalaciones eléctricas industriales

2



Un circuito eléctrico es un conjunto de elementos conectados entre sí por medio de conductores a través de los cuales circula una corriente eléctrica. Las instalaciones eléctricas industriales están compuestas por numerosos circuitos cuyo objetivo es el de suministrar energía a los receptores, mediante el uso de diversos mecanismos, dispositivos y componentes que cumplen diversas funciones.

En esta unidad analizaremos en profundidad los dispositivos más importantes que componen los circuitos de fuerza y maniobra de las instalaciones de automatismos industriales.

Contenidos

- 2.1. Conductores eléctricos
- 2.2. Dispositivos de conexión y seccionamiento
- 2.3. Dispositivos de protección
- 2.4. Dispositivos y equipos de medida
- 2.5. Receptores y actuadores

Objetivos

- Analizar los tipos de conductores eléctricos más utilizados en las instalaciones de automatismos industriales.
- Definir los defectos y anomalías que pueden producirse en un circuito eléctrico.
- Conocer las medidas y dispositivos de protección de las instalaciones eléctricas.
- Conocer las medidas y dispositivos de protección de personas y animales.
- Identificar los equipos de medida, receptores y actuadores asociados a las instalaciones eléctricas industriales.

2.1. Conductores eléctricos

Un conductor eléctrico permite el movimiento de los electrones así como la interconexión del resto de componentes que forman el circuito, por lo que puede afirmarse que es uno de los elementos más importantes de las instalaciones eléctricas. Dada la gran variedad existente de cables y conductores en el mercado, resulta necesario conocer sus características para escoger adecuadamente el tipo de conductor más apropiado a cada situación.

Figura 2.1. *Representación del conductor eléctrico.*

Como punto de partida, es indispensable hacer mención a los términos *conductor* y *cable*, ya que se utilizan habitualmente sin hacer ninguna distinción entre ellos. Sin embargo, existe una pequeña diferencia entre ambos conceptos:

- Un **conductor** es el material metálico (por ejemplo, cobre o aluminio) por el que circula la intensidad en un circuito eléctrico.
- Se denomina **cable** al conjunto formado por un conductor y la capa de material aislante (o aislamiento) que lo rodea.

Figura 2.2. *Concepto de cable y conductor.*

2.1.1. Tipos de conductores eléctricos

Los conductores eléctricos se pueden clasificar en función de varios criterios: el tipo de material del que están compuestos, su constitución interna y el tipo de aislamiento que los recubre.

En lo que respecta al tipo de **material** que compone un conductor eléctrico, como resulta evidente, debe tratarse de un elemento con alta conductividad eléctrica, como es el caso de la mayoría de los metales. De entre todos los metales que existen, los más utilizados para la fabricación de los conductores que forman parte de las instalaciones eléctricas de baja tensión son dos: el *cobre* y el *aluminio*.

- **Conductores de cobre:** el cobre es uno de los metales que presenta menor resistividad eléctrica (solo superado por la plata). La gran mayoría de los conductores utilizados en baja tensión son de cobre.
- **Conductores de aluminio:** el aluminio tiene más resistividad eléctrica que el cobre, por lo que es peor conductor, pero presenta mejor resistencia ante los esfuerzos mecánicos y la rotura. Por este motivo, se utiliza en cables de alta tensión y en algunos cables de baja tensión de gran sección. En el entorno industrial, es posible encontrar cables de aluminio para alimentar a maquinaria de gran potencia.

Tabla 2.1. Conductividades (en $m/\Omega \times mm^2$) para conductores de cobre y aluminio a distintas temperaturas.

Material	γ_{20}	γ_{70}	γ_{90}
Cobre	56	48	44
Aluminio	35	30	28

Desde el punto de vista de la **constitución interna** del material conductor, y dependiendo del número de *hilos* o *alambres internos* que lo forman, se distinguen dos tipos de conductores:

- **Conductor rígido:** formado por un solo alambre o varios alambres muy gruesos.

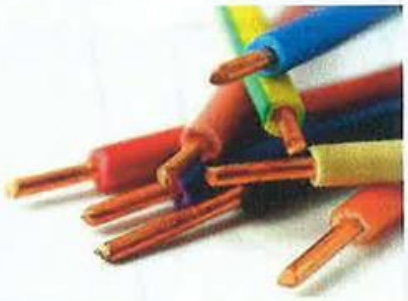


Figura 2.3. *Conductores rígidos de un solo hilo.*

- **Conductor flexible:** formado por una gran cantidad de alambres muy finos. Este tipo de conductores son fácilmente deformables y muy resistentes a la rotura.

Figura 2.4. *Conductores flexibles compuestos por hilos de cobre muy finos.*

- **Conductor extraflexible:** formado por una cantidad aún mayor de alambres muy finos, lo que otorga al cable la máxima flexibilidad y una elevada resistencia mecánica ante los impactos.

SABÍAS QUE

En instalaciones industriales es común utilizar conductores de uso específico para alimentar a ciertos equipos, como por ejemplo el cable flexible para maquinaria móvil o el cable extraflexible para utilizar en máquinas de soldar.

Por último, y en función del tipo de **aislamiento** externo, los cables pueden ser de dos tipos:

- **Conductor desnudo:** el conductor carece de aislamiento externo. Solo pueden utilizarse este tipo de cables en instalaciones donde exista una distancia de seguridad o cuando el conductor esté conectado a tierra (instalación de puesta a tierra).

Figura 2.5. *Conductor de cobre desnudo perteneciente a una toma de tierra.*

- **Conductor aislado:** el conductor está recubierto por uno o varios aislamientos externos. Dicho aislamiento puede ser de diversos materiales y dotará al cable de propiedades específicas, como la temperatura máxima de trabajo, el comportamiento ante el fuego, la capacidad de carga, etc. Los aislamientos más utilizados en instalaciones industriales de baja tensión son los siguientes:
  - — Policroruro de vinilo (PVC).
  - — Polietileno reticulado (XLPE).
  - — Etileno-propileno (EPR).
  - — Etileno-acetato de vinilo.
  - — Policloropreno.
  - — Estireno-butadieno.
  - — Mezclas de poliolefina con baja emisión de humos y gases corrosivos.

Figura 2.6. *Conductor aislado por dos capas de material aislante, siendo el aislamiento externo de PVC. (Cortesía de General Cable.)*

SABÍAS QUE

Existen cables con aislamiento mineral compuesto por metales como óxido de magnesio, níquel, cobre o aluminio. Son muy utilizados como cables calefactores y en las grandes instalaciones industriales de refinamiento, ya que son totalmente ignífugos.

Actividad propuesta 2.1

Existe un tipo de cable de baja tensión aislado y blindado por una malla metálica, como el que se muestra en la siguiente figura.

Figura 2.7. *Cable aislado y blindado por una malla metálica. (Cortesía de General Cable.)*

Explica cuál crees que es la función que cumple la malla metálica externa, y enumera varios tipos de industrias en los que consideres apropiado que se utilicen este tipo de cables.

2.1.2. Características técnicas de los conductores eléctricos

En lo que respecta a las características técnicas que diferencian y definen a un conductor eléctrico son cuatro las más importantes: el color del aislamiento externo, la sección, el agrupamiento y la tensión asignada.

El **color** del aislamiento que recubre a un conductor sirve para diferenciar su uso en la instalación. Así, el color de cada conductor lo estable el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión mediante el denominado **código de colores.**

Tabla 2.2. Código de colores del aislamiento de los conductores en instalaciones de baja tensión.

Color	Uso del conductor
Marrón	Conductor de fase (L1)
Negro	Conductor de fase (L2)
Gris	Conductor de fase (L3)
Azul	Conductor neutro (N)
Verde-Amarillo	Conductor de protección (PE)

En las instalaciones eléctricas relacionadas con los automatismos industriales, así como en las centralizaciones de contadores de los edificios destinados a viviendas o industrias, resulta también posible encontrar otro tipo de conductores, de color rojo. Es muy común utilizar este tipo de cables en circuitos de maniobra de automatismos industriales, sobre todo si estos son gobernados a tensiones comprendidas entre 12 y 48 voltios.

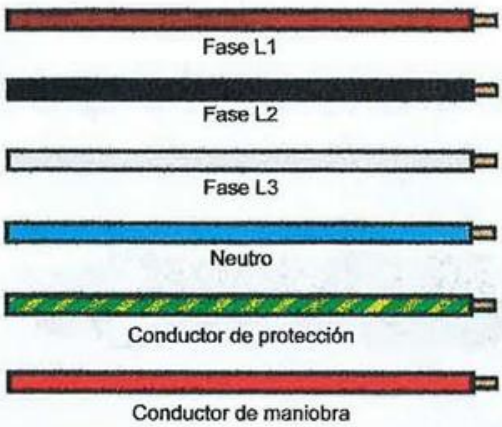


Figura 2.8. *Representación del código de colores.*

La **sección** de un conductor es la superficie útil por la que puede circular el flujo de electrones que forma la corriente eléctrica. Su símbolo es ***S*** y se mide en **milímetros cuadrados** (mm^2). Cuando se habla de la sección del cable únicamente se hace referencia a la parte metálica del mismo, sin tener en cuenta el aislamiento.

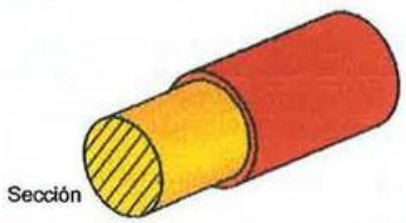


Figura 2.9. *Representación de la sección de un conductor de cobre.*

Cuanto mayor es la sección de un conductor, más electrones podrán circular libremente por el mismo, y por tanto, más intensidad de corriente será capaz de transportar. En definitiva, deberá usarse un conductor de una sección u otra dependiendo de la potencia de los receptores a los que suministre energía eléctrica y de la caída de tensión.

Figura 2.10. *Relación entre la sección de un conductor y la intensidad y potencia del circuito.*

Los fabricantes de cables no comercializan cables de cualquier sección, sino que se ajustan a unas *secciones normalizadas* para unificar los criterios y abaratar los costes de producción. Las secciones de cables de baja tensión utilizadas en la actualidad se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 2.3. Secciones normalizadas de los conductores utilizados en instalaciones eléctricas de baja tensión.

Secciones normalizadas de conductores en baja tensión						
0,5 mm^2	1,5 mm^2	6 mm^2	25 mm^2	70 mm^2	150 mm^2	300 mm^2
0,75 mm^2	2,5 mm^2	10 mm^2	35 mm^2	95 mm^2	185 mm^2	400 mm^2
1 mm^2	4 mm^2	16 mm^2	50 mm^2	120 mm^2	240 mm^2	500 mm^2

Los conductores eléctricos pueden encontrarse agrupados dentro de un mismo cable. El **agrupamiento** establece el número de conductores que forman parte del mismo cable, que podrán ser unipolares (independientes) o multiconductores.

- **Cable unipolar:** es aquel que está formado por un solo conductor.
- **Cable multiconductor:** se encuentra formado por dos o más conductores. A este tipo de cables también se les conoce con el nombre de *cables multipolares* o *mangueras*.

Figura 2.11. *Cable multiconductor de cinco conductores para instalaciones trifásicas.*

Dependiendo del número de conductores, las mangueras pueden ser *bipolares*, *tripolares*, *tetrapolares*, *pentapolares*, etc.

Figura 2.12. *Representación gráfica de cables multiconductores.*

Cuando varios conductores se encuentran agrupados en un mismo cable, el aislamiento propio de cada uno de los conductores estará recubierto por una segunda capa de material aislante que envuelve y protege a todo el conjunto. En estos casos, este segundo aislamiento exterior se denomina **cubierta** del cable.

SABÍAS QUE

En determinadas ocasiones, el aislamiento externo o la cubierta de los conductores eléctricos no respeta el código de colores, por lo que será el propio instalador quien deberá marcar cada uno de los cables con el color correspondiente al ejecutar la instalación. Para esta tarea suele emplearse cinta aislante o manguitos de goma.

Figura 2.13. *Marcado manual del cableado en base al código de colores.*

La **denominación del cableado eléctrico** depende de su agrupamiento, o número de conductores, y de su sección. Así, por ejemplo, una manguera de dos conductores (bipolar) de 4 mm² de sección se denomina comúnmente como *cable de 2x4 mm²*.

Si la manguera incluye, además de los conductores de fase o neutro, el correspondiente conductor de protección, suele resultar apropiado indicar la sección de dicho conductor de manera independiente, ya que en determinados casos es posible que tenga una sección inferior a la del resto.

Actividad propuesta 2.2

Sabiendo que la denominación común de los cables eléctricos depende de la sección y agrupamiento de sus conductores, ¿cómo denominarías a los conductores expuestos a continuación?

Ejemplo: manguera trifásica, sin neutro y con conductor de protección (sección de las fases 70 mm², sección del conductor de protección 35 mm²).

Denominación: 3 × 70 mm² + TT 35 mm²

a) Cable unipolar de 1,5 mm².

b) Manguera trifásica, tetrapolar con neutro. Sección de todos los conductores 16 mm².

c) Manguera pentapolar. Sección de todos los conductores 6 mm².

d) Cable multiconductor de tres conductores de 4 mm², sin conductor de protección.

e) Cable multiconductor, con neutro y con conductor de protección (sección de las fases y neutro 25 mm², sección del conductor de protección 16 mm²).

Del aislamiento de un determinado conductor, entre otros factores, depende directamente el voltaje o tensión máxima que podrá soportar dentro de la instalación eléctrica. Es lo que se denomina como **tensión asignada**, y expresa el nivel de voltaje de referencia para la que se ha diseñado el cable.

La tensión asignada se indica mediante la combinación de dos valores, ***Uo/U***, expresados en voltios, siendo *Uo* el valor eficaz entre cualquier conductor aislado y tierra, y *U* el valor eficaz entre dos conductores de fase de un mismo cable multipolar o de un conjunto de cables unipolares.

En un sistema de corriente alterna, la tensión asignada de un cable debe ser por lo menos igual a la tensión nominal del sistema para el que está previsto. Si se sometiese a un cable a diferencias de potencial superiores a su valor asociado de tensión asignada, el material aislante perdería sus propiedades dieléctricas y no cumpliría su función de protección.

Los valores de tensión asignada asociados a los conductores eléctricos de baja tensión se muestran en la siguiente tabla, siendo los más utilizados 450/750 V y 0,6/1 kV.

Tabla 2.4. Tensiones asignadas de los conductores más utilizados en instalaciones eléctricas de baja tensión.

Tensiones asignadas de conductores en baja tensión (*Uo/U*)				
100/100 V	300/300 V	300/500 V	450/750 V	0,6/1 kV

Cabe destacar que según la normativa vigente, un cable podría utilizarse a una tensión de servicio superior en un 10 % a su tensión asignada en corriente alterna, e incluso superior a 1,5 veces la tensión asignada en corriente continua.

RECUERDA

No debe superarse nunca el valor de tensión asignada de un cable eléctrico, así como tampoco debe sobrepasarse el nivel de temperatura máxima de trabajo (70 °C para cables de PVC y 90 °C para cables de EPR y XLPE).

2.1.3. Designación técnica de los conductores

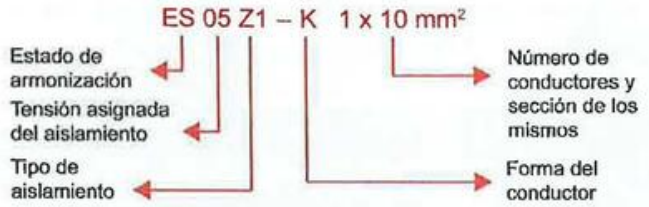
Los sistemas de designación del cableado de energía eléctrica se basan en el marcado de la parte externa de los mismos mediante una secuencia de símbolos en el que cada uno de ellos, según su posición, tiene un significado previamente establecido.

Tras el nombre del fabricante y la marca comercial, dicha combinación de símbolos (letras y números) hace referencia a las características físicas y técnicas del cable. Este marcaje, además, debe incluir datos adicionales como los certificados de conformidad (AENOR, CE) o la fecha de fabricación.

Cada tipo de cable tiene una designación propia según la norma de aplicación. Por tanto, hay que tener muy en cuenta que el mismo símbolo puede tener significados distintos según se trate de un cable de 450/750 V o de un cable de 0,6/1 kV.

Los cables eléctricos aislados de tensión asignada hasta **450/750 V**, se designan conforme a varias normas UNE (UNE 20434, UNE 21031, UNE 21027, UNE 211002, entre otras) cuyas prescripciones son de aplicación en todos los países de la Unión Europea.

La secuencia de símbolos que definen a este tipo de conductores es la siguiente:



El significado de los códigos alfanuméricos que denominan y definen las características de este tipo de conductores, se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 2.5. Códigos de designación de los conductores eléctricos 450/750 V.

DESIGNACIÓN NORMALIZADA DE CABLES TENSIÓN ASIGNADA Uo/U.-450/750 V CONFORME A UNE 21031, UNE 21027, UNE 211002			
Número	Descripción	Sigla símbolos	Significado
1	Estado de armonización	H	Cable tipo armonizado
		ES o ES-N	Cable tipo nacional
		A	Cable tipo nacional autorizado por CENELEC
2	Tensión asignada	01	Uo/U.-100/100 V
		03	Uo/U.-300/300 V
		05	Uo/U.-300/500 V
		07	Uo/U.-450/750 V
3	Tipo de aislamiento	V	Policroruro de vinilo (PVC)
		V2	Mezcla de PVC (servicio a 90 °C)
		V3	Mezcla de PVC (servicio a baja temperatura)
		V4	PVC reticulado
		B	Goma de etileno propileno
		G	Etileno-acetato de vinilo
		N2	Mezcla de policloropreno
		R	Goma de estireno-butadieno
		S	Goma de silicona
		Z	Mezcla reticulada de poliolefina con baja emisión de humos y gases corrosivos
		Z1	Mezcla termoplástica de poliolefina con baja emisión de humos y gases corrosivos

DESIGNACIÓN NORMALIZADA DE CABLES TENSIÓN ASIGNADA Uo/U.-450/750 V CONFORME A UNE 21031, UNE 21027, UNE 211002			
Número	**Descripción**	**Sigla símbolos**	**Significado**
4	Cubierta	V	Policroruro de vinilo (PVC)
		V2	Mezcla de PVC (servicio a 90 °C)
		V4	PVC reticulado
		V5	Mezcla de PVC (resistente al aceite)
		B	Goma de etileno propileno
		G	Etileno-acetato de vinilo
		N	Policloropreno
		N4	Polietileno clorosulforado
		N8	Policloropreno resistente al agua
		Q	Poliuretano
		J	Trenza de fibra de vidrio
		R	Goma de estireno-butadieno
		S	Goma de silicona
		Z	Mezcla reticulada de poliolefina con baja emisión de humos y gases corrosivos
5	Forma del conductor (separado por un guion)	-U	Rígido circular de un solo alambre (clase 1)
		-R	Rígido circular de varios alambres (clase 2)
		-F	Flexible para servicios móviles (clase 5)
		-H	Extraflexible (clase 6)
		-K	Flexible para instalación fija (clase 5)
		-D	Flexible para utilizar en máquinas de soldar
		-E	Muy flexible para utilizar en máquinas de soldar
6	Número de conductores	N	Número de conductores (1, 2, 3, ..., n)
		X	«X» si no existe conductor amarillo/verde (conductor de protección)
	Sección	G	«G» si existe conductor amarillo/verde (conductor de protección)
		mm²	Sección nominal

En lo que respecta a la designación técnica normalizada de los cables de tensión asignada **0,6/1 kV**, resulta algo más compleja, puesto que no existe una norma general de marcado sino que varias normas distintas definen su propio código de designación en función del tipo de conductor. Así, por ejemplo, los cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV se rigen por los criterios de la norma UNE 21123.

2.1.4. Conductores eléctricos en instalaciones industriales

La mayor parte de las prescripciones técnicas aplicables a conductores eléctricos en baja tensión se encuentran incluidas en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT 2002), así como en las correspondientes normas UNE.

En instalaciones de tipo industrial, el cableado y sus características, así como el resto del equipamiento eléctrico, quedarán definidos en cada caso en función de la utilización de la instalación (riesgo de incendio o explosión, riesgo de corrosión, locales polvorientos, locales húmedos, etc.). No obstante, existe una serie de prescripciones para el cableado que son siempre de aplicación, de entre las que se destacan las siguientes:

- La Línea General de Alimentación (LGA), que será instalada solo en edificios destinados a concentración de industrias, tendrá un nivel de aislamiento 0,6/1 kV. Los cables serán no propagadores del incendio y con emisión de humos y opacidad reducida.
- La Derivación Individual (DI), que alimenta al Cuadro General (CGBT) de la instalación, tendrá una tensión asignada de 450/750 V (0,6/1 kV para el caso de cables multiconductores o para el caso de derivaciones individuales en el interior de tubos enterrados). Los cables serán no propagadores del incendio y con emisión de humos y opacidad reducida.

Figura 2.14. *Cables con aislamiento no propagador del incendio y con emisión de humos y opacidad reducida, más comúnmente conocidos como* libres de halógenos. *(Cortesía de General Cable.)*

- El cableado de los circuitos interiores podrá tener una tensión asignada de 450/750 V, siempre que no se trate de una instalación de características especiales, en cuyo caso habrá de aplicarse la Instrucción Técnica Complementaria correspondiente del REBT 2002.

SABÍAS QUE

Las conexiones entre conductores por retorcimiento están totalmente prohibidas. El cableado eléctrico debe conectarse a través de algún tipo de accesorio específico.

Asimismo, en el entorno industrial debe ser también tenido en cuenta el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (aprobado por el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre), en cuyo contenido se especifica lo siguiente:

- Los cables situados en el interior de falsos techos o suelos elevados, tanto los utilizados para aislamiento térmico y para acondicionamiento acústico como los que constituyan o revistan conductos de aire acondicionado o de ventilación deberán ser no propagadores de incendio y con emisión de humo y opacidad reducida.
- En el caso de que los cables eléctricos alimenten a equipos que deban permanecer en funcionamiento durante un incendio, deberán estar protegidos para mantener la corriente eléctrica durante el tiempo exigible a la estructura de la nave en que se encuentre.

Figura 2.15. *Cable con aislamiento resistente al fuego (AS+), utilizado para alimentar servicios esenciales. (Cortesía de General Cable.)*

2.2. Dispositivos de conexión y seccionamiento

La aparamenta considerada como de **conexión**, engloba a todos aquellos dispositivos capaces de abrir o cerrar un circuito eléctrico sin carga o con **carga nominal**, es decir, en condiciones normales de funcionamiento.

Por otro lado, la aparamenta considerada como de **seccionamiento** hace referencia a los dispositivos que solo son capaces de abrir o cerrar circuitos eléctricos que se encuentran **sin carga** (la intensidad que circula por los conductores es nula).

A pesar de la diferencia teórica entre las funciones de conexión y seccionamiento, se hace necesario agrupar estos dos conceptos, dado que gran cantidad de dispositivos utilizados en instalaciones de automatismos industriales poseen la capacidad tanto de *cortar* como de *seccionar* circuitos en carga.

Los dispositivos empleados con mayor frecuencia en las instalaciones de automatismos industriales para llevar a cabo las funciones de conexión y seccionamiento son los siguientes:

Tabla 2.6. Aparamenta de conexión y seccionamiento.

Dispositivo	Función que cumple	
	Conexión	Seccionamiento
Base de toma de corriente	Solo si $I_N < 16$ A	✓
Seccionador		✓
Interruptor	✓	
Interruptor seccionador	✓	✓
Pulsador	✓	
Contactor	✓	

Para poder llevar a cabo el estudio de los diferentes componentes que cumplen las funciones de conexión y seccionamiento, es imprescindible conocer unos conceptos previos asociados a los mismos, definidos a continuación:

- **Tensión nominal:** expresada en voltios (V), es la tensión en condiciones normales de funcionamiento de un circuito eléctrico.
- **Intensidad nominal:** expresada en amperios (A), es la intensidad de corriente que circula por un circuito eléctrico en condiciones normales de funcionamiento.
- **Arco eléctrico:** descarga eléctrica que se forma entre dos puntos conductores aislados cuando son sometidos a una diferencia de potencial muy elevada.
- **Poder de aislamiento:** expresado en kilovoltios (kV), es la máxima diferencia de potencial que es capaz de aislar un dispositivo cuando está desconectado sin que se forme un arco eléctrico entre sus bornes.
- **Intensidad de corta duración:** expresada en kiloamperios por segundo (kA/s), es la máxima intensidad de corriente que un dispositivo de conexión es capaz de soportar entre sus bornes en el momento de interrumpir un circuito eléctrico en carga.

- **Endurancia:** número de maniobras de apertura y cierre que un dispositivo es capaz de realizar antes de que se produzca un fallo por desgaste. La endurancia puede ser de tipo mecánica o eléctrica.

2.2.1. Base de toma de corriente

La base de toma de corriente es un dispositivo de conexión que se encarga de suministrar energía eléctrica a los receptores de un circuito. A una toma de corriente se puede conectar cualquier receptor eléctrico, aportándole el voltaje e intensidad necesarios para su funcionamiento.

Hasta los terminales de una base de corriente llegan los conductores que parten desde el cuadro eléctrico (conductores activos y conductor de protección), proporcionando de este modo la tensión de la red eléctrica: 230 V_{CA} para las tomas monofásicas o 400 V_{CA} para las tomas trifásicas.

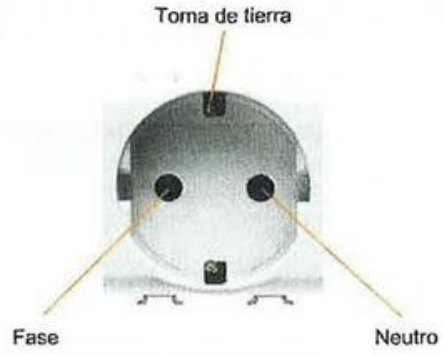
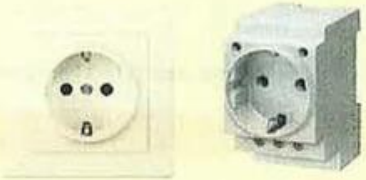
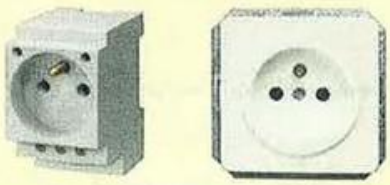


Figura 2.16. *Partes de una toma de corriente.*

Existen varios formatos de tomas de corriente, dependiendo de su uso y características. Los más utilizados en la actualidad son los mostrados a continuación:

Tabla 2.7. Tipología y características de las bases de toma de corriente.

Tipo		Nombre y características	Imagen
Monofásicas	Domésticas	**C1a** Base monofásica sin toma de tierra Intensidad admisible: 10 o 16 A Está **prohibido** su uso (salvo para sustituciones)	
		C2a Base monofásica de uso general, con contacto de tierra lateral Intensidad admisible: 16 A También conocida como *base alemana* o *base Schuko*	
		C3a Base monofásica con contacto de tierra central Intensidad admisible: 16 A También conocida como *base francesa*	
		ESB 25a (ESB 25-5) Base monofásica con contacto de tierra interno Intensidad admisible: 25 A	

Tipo		Nombre y características	Imagen
Monofásicas	Industriales	**Base monofásica de uso industrial 2P+T (16 A)** Conexión para fase, neutro y conductor de protección Intensidad admisible: 16 A	
		Base monofásica de uso industrial 2P+T (32 A) Conexión para fase, neutro y conductor de protección Intensidad admisible: 32 A	
Trifásicas		**Base trifásica 3P+N+T** Base trifásica de uso industrial Conexión para tres fases, neutro y conductor de protección (3F+N+PE) Intensidad admisible: 16 A, 32 A, 63 A o 125 A	
		Base trifásica 3P+T Base trifásica de uso industrial. Conexión para tres fases y conductor de protección (3F+PE). Intensidad admisible: 16 A, 32 A, 63 A o 125 A	

Tabla 2.8. Simbología asociada a las bases de toma de corriente.

	Símbolo
Base monofásica sin toma de tierra	
Base monofásica con toma de tierra	
Base monofásica de 25 A o superior	
Base trifásica	

Las normas fundamentales que especifican las características técnicas de las bases de toma de corriente son dos: la norma UNE 20315-2-10 para bases de toma de corriente y clavijas para usos domésticos y análogos, y la norma UNE-EN 60309 sobre tomas de corriente para usos industriales.

Esta última norma, sobre bases de corriente de uso industrial, establece un código de colores para las mismas que permite diferenciarlas en función de su tensión y frecuencia de funcionamiento, así como un índice horario basado en la posición de la toma de tierra, que en este tipo de bases se corresponde con el hueco más grande.

SABÍAS QUE

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece que solo podrán usarse para la función de **conexión y desconexión** de circuitos en carga, las clavijas de las tomas de corriente de intensidad nominal **no superior a 16 A**. Para intensidades de funcionamiento superiores, las clavijas solo podrán cumplir la función de seccionamiento, es decir, únicamente podrán unirse a la base de toma de corriente cuando el circuito se encuentre sin carga.

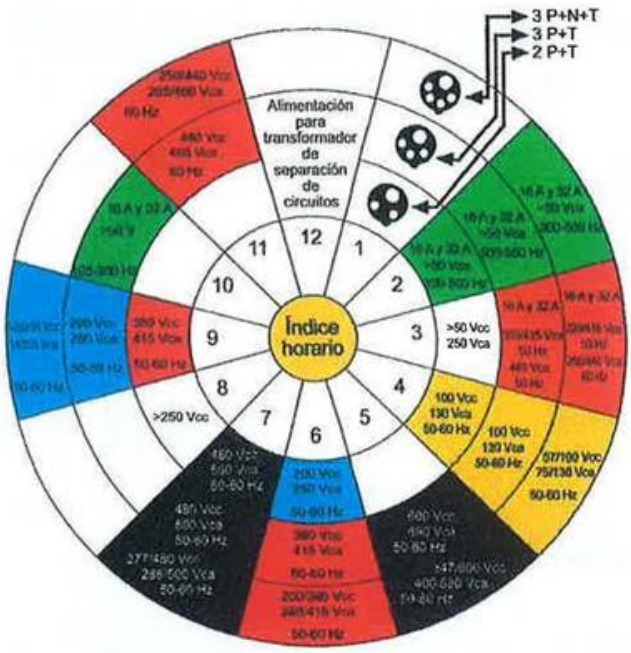


Figura 2.17. *Código de colores y posición de la toma de tierra para bases de corriente industriales.*

Cabe destacar, que para aumentar la seguridad de las bases de toma de corriente resulta obligatorio que las mismas posean tapas o elementos obturadores internos.

Además, es posible encontrar tomas de corriente con indicadores que marcan la presencia de tensión, tal como se muestra en la figura:

Figura 2.18. *Toma de corriente con indicador de tensión. (Cortesía de Siemens.)*

Actividad propuesta 2.3

Las bases de tomas de corriente de una instalación eléctrica deben conectarse **siempre en paralelo**. De este modo todos los receptores del sistema tendrán la misma tensión y funcionarán correctamente.

¿Qué crees que ocurriría si en una instalación industrial las bases de toma de corriente estuvieran conectadas en serie?

2.2.2. Seccionador

El seccionador, como su propio nombre indica, es un dispositivo eléctrico cuya función es la de seccionar circuitos eléctricos, es decir, abrir o cerrar los mismos **sin carga**.

Las funciones que cumplen los seccionadores en los circuitos eléctricos son fundamentalmente dos:

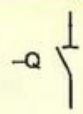
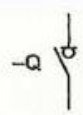
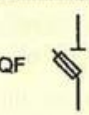
- Aislar el circuito (poder de aislamiento elevado).
- Dar corte visible.

Los seccionadores son muy utilizados en instalaciones eléctricas de media y alta tensión, ya que aseguran una gran distancia de aislamiento, lo que resulta muy útil para separar uno o varios elementos de la red eléctrica con la finalidad de ponerlos fuera de servicio, o para llevar a cabo trabajos de mantenimiento con total seguridad.

En circuitos eléctricos de baja tensión, sin embargo, su uso es mucho menos frecuente. En este tipo de instalaciones, este dispositivo puede estar integrado en otro tipo de aparamenta, generalmente fusibles e interruptores de corte en carga.

Figura 2.19. *Interruptor-seccionador, utilizado en instalaciones de BT. (Cortesía de Siemens.)*

Tabla 2.9. **Simbología asociada a los seccionadores.**

	Símbolo
Seccionador	
Interruptor-seccionador	
Fusible-seccionador	

Los valores característicos asociados a los seccionadores de baja tensión son los siguientes:

- Tensión nominal (V).
- Intensidad nominal (A).
- Poder de aislamiento (kV).
- Intensidad de corta duración (kA/s).

2.2.3. Interruptores, pulsadores y reguladores

Los interruptores y los pulsadores son dispositivos eléctricos utilizados para la apertura y cierre (conexión y desconexión) de circuitos en carga, cuando las condiciones de funcionamiento son normales.

Se trata de **componentes de mando manual**, por lo que su activación depende siempre de la intervención de una persona u operario. Suelen estar asociados a los circuitos de maniobra de las instalaciones de automatismos industriales, aunque en otras instalaciones eléctricas de baja potencia pueden formar parte de los circuitos de fuerza.

Las principales diferencias entre los interruptores, los pulsadores y los reguladores dependen básicamente de su función y principio de funcionamiento:

- **Interruptor:** es un elemento de maniobra utilizado para abrir o cerrar un circuito eléctrico de forma **permanente**, permitiendo el paso de la corriente (conexión) o interrumpiéndolo (desconexión). Dependiendo de su uso y aplicación existen interruptores simples, conmutados, selectores dobles, selectores triples, rotativos, de palanca, de pedal, de tirador, etc.

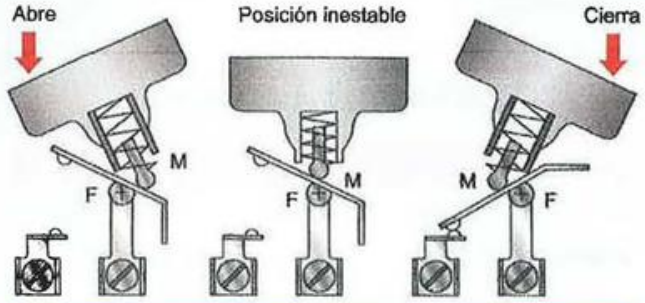
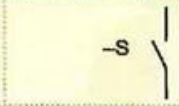
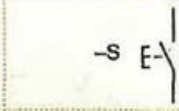
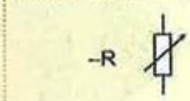


Figura 2.20. *Principio de funcionamiento de un interruptor.*

- **Regulador:** el regulador, o *dimmer*, es un dispositivo que permite variar la intensidad de corriente que circula por los conductores de un circuito eléctrico. Su funcionamiento suele basarse en una resistencia de tipo variable, denominada **potenciómetro**.
- **Pulsador:** es un tipo de interruptor **momentáneo** que permite o interrumpe el paso de la corriente eléctrica únicamente **mientras se encuentra accionado**. Cuando el operario o usuario deja de actuar sobre él, vuelve a su posición original (*posición de reposo*).

Tabla 2.10. Simbología asociada a los interruptores, pulsadores y reguladores.

	Símbolo genérico
Interruptor	
Pulsador	
Resistencia variable (regulador)	

Tanto los interruptores como los reguladores y los pulsadores, pueden estar diseñados para su uso en circuitos de fuerza o en circuitos de control y maniobra.

En los **circuitos de fuerza** de las instalaciones eléctricas industriales, es frecuente encontrar interruptores de corte en carga o interruptores-seccionadores en la cabecera de los cuadros secundarios, permitiendo la desconexión del mismo en condiciones normales. También es frecuente el uso de conmutadores y reguladores de potencia, aunque estos dispositivos son más propios de los circuitos de mando.

Figura 2.21. *Interruptor de corte en carga para circuitos de fuerza de media potencia. (Cortesía de Schneider Electric.)*

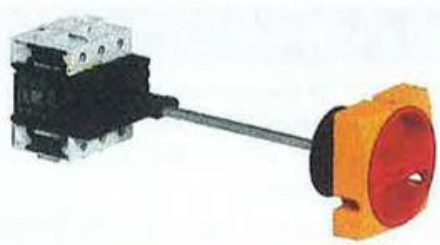


Figura 2.22. *Conmutador rotativo.*

Por otro lado, de entre todos los dispositivos manuales para **circuitos de maniobra** presentes en el mercado, los de mayor uso en instalaciones de automatismos industriales son los siguientes:

- Pulsador de paro.
- Pulsador de marcha.
- Pulsador de paro de emergencia.
- Interruptor de dos posiciones (basculante, de palanca o rotativo).
- Interruptor de tres posiciones.
- Interruptor de llave.
- Potenciómetro manual.
- Interruptor/pulsador de palanca (*joystick*).
- Pulsador de pedal.

SABÍAS QUE

Las características específicas de los dispositivos de maniobra citados, así como la simbología asociada a los mismos, se estudiarán en detalle en la Unidad 7 del libro, correspondiente a lógica cableada.

Los valores característicos asociados a los interruptores, reguladores y pulsadores de baja tensión, tanto para circuitos de potencia como para circuitos de control son los siguientes:

- Tensión nominal (V).
- Intensidad nominal o poder de cierre (A).
- Endurancia mecánica.
- Endurancia eléctrica.

2.2.4. Contactor

El contactor es un dispositivo de conexión y desconexión de circuitos de fuerza, utilizado en prácticamente la totalidad de las instalaciones de automatismos industriales para controlar la apertura o cierre de la alimentación eléctrica hacia los receptores terminales de los circuitos.

Se trata de un **componente de mando automático**, dado que ningún operario de las instalaciones interactúa u opera directamente sobre este dispositivo. La apertura y cierre que ofrece el contactor se realiza a través de una bobina (**electroimán**), situada en el circuito de maniobra asociado al automatismo que se desea controlar. Cuando el electroimán recibe alimentación eléctrica, los contactos del contactor que permanecían abiertos en estado de reposo (los del circuito de fuerza y los auxiliares correspondientes) se cierran, permitiendo el paso de la corriente. Por otro lado, los contactos del contactor que permanecían cerrados (de tipo auxiliar fundamentalmente) se abrirán. Esta situación se mantendrá así mientras la bobina del contactor siga estando conectada.

Los contactores, por tanto, son el nexo de unión fundamental entre los circuitos de potencia y los circuitos de maniobra asociados a las instalaciones de automatismos.

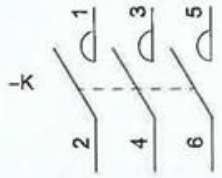


Figura 2.23. *Símbolo asociado al contactor.*

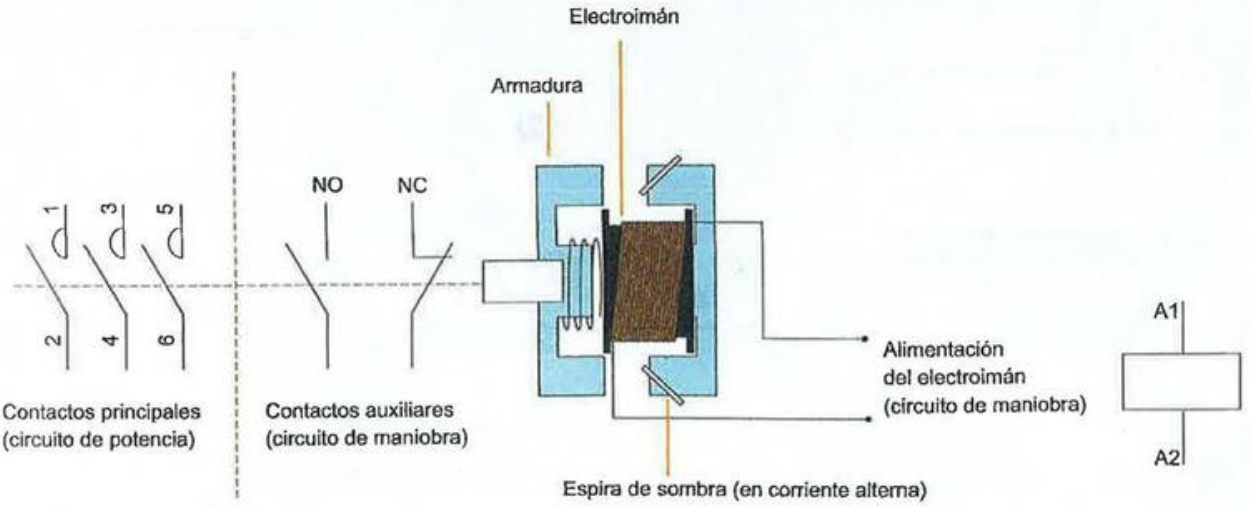


Figura 2.24. *Representación interna y principio de funcionamiento de un contactor.*

Los contactores cuyo electroimán se alimenta en corriente alterna monofásica deben disponer en su interior de un componente denominado **espira de sombra** o anillo de desfase que, colocado en el núcleo de la bobina, previene ruidos y vibraciones en los momentos en los que la onda de tensión pasa por cero, provocando un desfase auxiliar que mantiene la armadura atraída en todo momento por el núcleo.

Figura 2.25. *Contactores para circuitos de baja potencia. (Cortesía de Siemens y Schneider Electric.)*

Los valores característicos asociados a los contactores de baja tensión son los siguientes:

- Tensión nominal (V).
- Intensidad nominal (A).
- Tensión de aislamiento (kV).
- Tensión y corriente de alimentación del electroimán.
- Número de polos de potencia.
- Número de salidas y contactos auxiliares.
- Categoría de empleo.
- Intensidad de corta duración (kA/s).
- Endurancia mecánica.
- Endurancia eléctrica.

SABÍAS QUE

Los contactores son aparatos capaces de efectuar elevados ciclos de maniobra eléctrica de cierre y apertura, que van desde 3 hasta 1.200 ciclos por hora.

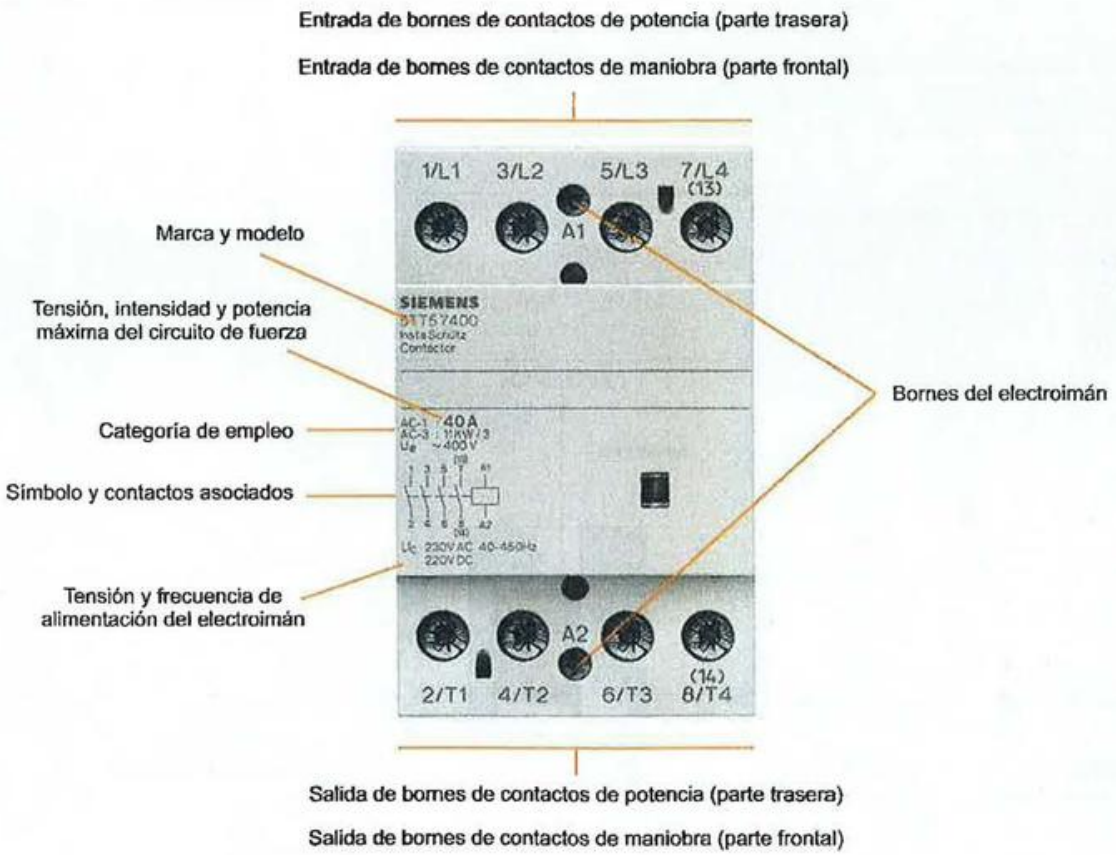


Figura 2.26. *Parámetros característicos de un contactor.*

Figura 2.27. *Contactor para circuitos de alta potencia. (Cortesía de Siemens.)*

Categoría de empleo de los contactores

Los contactores se dividen en dos grupos, que dependen básicamente de si los receptores que van a ser controlados a través del dispositivo son alimentados en corriente alterna o en corriente continua.

Dentro de cada grupo, y en función del tipo de carga recomendada, existe una clasificación más específica que subdivide los contactores en **categorías de empleo**.

Las categorías de empleo normalizadas fijan los valores de corriente que el contactor debe establecer o cortar. Dependen tanto de la naturaleza del receptor controlado (motor, resistencias, etc.) como de las condiciones en las que se realicen los cierres y las aperturas.

Tabla 2.11. Categoría de los contactores en corriente alterna. (Cortesía de Schneider Electric.)

Categoría	Uso y características
AC-1	Se aplica a todos los aparatos de uso de corriente alterna, cuyo factor de potencia es al menos igual a 0,95 (cos $\varphi \geq 0{,}95$). Ejemplos de utilización: calefacción, bloques resistivos, distribución.
AC-2	Esta categoría rige el arranque, el frenado a contracorriente y la marcha "a sacudidas" de los motores de anillos. • En el cierre, el contactor establece la corriente de arranque, aproximadamente 2,5 veces la corriente nominal del motor. • En la apertura, deberá cortar la corriente de arranque, con una tensión igual a la tensión de la red.
AC-3	Se aplica a los motores de jaula en los que el corte se realiza con el motor lanzado. • En el cierre, el contactor establece la corriente de arranque, que es de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor. • En la apertura, el contactor corta la corriente nominal absorbida por el motor; en ese momento, la tensión en los bornes de sus polos se acercará al 20 % de la tensión de la red. El corte resulta sencillo. Ejemplos de utilización: todos los motores de jaula habituales, ascensores, escaleras mecánicas, cintas transportadoras, elevadores de cangilones, compresores, bombas, trituradoras, climatizadores, etc.
AC-4	Esta categoría se aplica a las aplicaciones con frenado a contracorriente y marcha "a sacudidas" con motores de jaula o de anillos. El contactor se cierra bajo un pico de corriente que puede alcanzar de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor. Al abrirse, corta esta misma corriente bajo una tensión tan elevada que la velocidad del motor se debilita. Esta tensión puede llegar a ser igual que la tensión de la red. El corte resulta brusco. Ejemplos de utilización: máquinas de impresión, máquinas de trefilar, elevadores, equipos de la industria metalúrgica.
AC-14	Se aplica al control de cargas electromagnéticas en las que la potencia absorbida, cuando el electroimán está cerrado, es inferior a 72 VA. Ejemplo de utilización: control de bobina de contactores y relés.
AC-15	Se aplica al control de cargas electromagnéticas en las que la potencia absorbida, cuando el electroimán está cerrado, es inferior a 72 VA. Ejemplo de utilización: control de bobina de contactores.

Tabla 2.12. Categoría de los contactores en corriente continua. (Cortesía de Schneider Electric.)

Categoría	Uso y características
DC-1	Se aplica a todos los aparatos de utilización de corriente continua cuya constante de tiempo es inferior o igual a 1 ms.
DC-3	Esta categoría rige el arranque, el frenado a contracorriente y la marcha "a sacudidas" de los motores de derivación. • En el cierre, el contactor establece la corriente de arranque, aproximadamente 2,5 veces la corriente nominal del motor. • En la apertura, deberá cortar 2,5 veces la corriente de arranque, con una tensión igual a la tensión de la red. Una tensión tan elevada que la velocidad del motor se debilita y, en consecuencia, puede aumentar su fuerza contraelectromotriz.
DC-5	Esta categoría se aplica al arranque, el frenado a contracorriente y la marcha "a sacudidas" de los motores serie. El contactor se cierra bajo un pico de corriente que puede alcanzar 2,5 veces la corriente nominal del motor. Al abrirse, corta esta misma corriente bajo una tensión tan elevada que la velocidad del motor se debilita. Esta tensión puede llegar a ser igual que la tensión de la red. El corte resulta brusco.
DC-13	Se aplica al control de cargas electromagnéticas en las que el tiempo empleado en alcanzar el 95 % de la corriente en el régimen establecido es 6 veces superior a la potencia P absorbida por la carga (con $P \leq 50$ W). Ejemplo de utilización: control de bobina de contactores sin resistencia.

SABÍAS QUE

Dado que el contactor es el componente fundamental de los circuitos de automatismos industriales, y por su especial importancia, las aplicaciones de los contactores en las instalaciones automáticas basadas en lógica cableada serán desarrolladas en detalle en la Unidad 7 de este libro.

2.2.5. Posibilidad de conectar y desconectar circuitos eléctricos en carga

La ITC-BT-19 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece que se instalarán dispositivos apropiados que permitan conectar y desconectar en carga los circuitos eléctricos en una sola maniobra, en los siguientes casos:

- Toda instalación interior o receptora en su origen, circuitos principales y cuadros secundarios.
- Cualquier receptor.
- Todo circuito auxiliar para mando o control, excepto los destinados a la tarificación de la energía.
- Toda instalación de aparatos de elevación o transporte, en su conjunto.
- Todo circuito de alimentación en baja tensión destinado a una instalación de tubos luminosos de descarga en alta tensión.
- Toda instalación de locales que presente riesgo de incendio o de explosión.
- Las instalaciones a la intemperie.
- Los circuitos con origen en cuadros de distribución.
- Las instalaciones de acumuladores.
- Los circuitos de salida de generadores.

Podrán exceptuarse de esta prescripción los circuitos destinados a relojes y los circuitos de mando o control siempre que su desconexión impida cumplir alguna función importante para la seguridad de la instalación. Este tipo de circuitos podrán desconectarse mediante dispositivos independientes del general de la instalación.

2.3. Dispositivos de protección

En los circuitos eléctricos pueden producirse determinadas situaciones en las que se ven alteradas las condiciones normales de funcionamiento de sus componentes. Estas alteraciones, conocidas como **defectos o fallos eléctricos**, son capaces de provocar daños irreversibles en la instalación e incluso afectar a las personas que la utilizan. Los defectos eléctricos pueden ser básicamente de dos tipos:

- Defectos que afectan a las instalaciones eléctricas y sus componentes.
- Defectos que suponen un riesgo para los usuarios de las instalaciones.

Antes de pasar al estudio de los diferentes dispositivos de protección que pueden formar parte de las instalaciones de automatismos industriales, será imprescindible diferenciar cada uno de los factores de riesgo que pueden presentarse en los sistemas eléctricos.

2.3.1. Defectos asociados a las instalaciones eléctricas

Los posibles defectos o fallos eléctricos que afectan directamente a las instalaciones eléctricas y sus componentes guardan relación con la variación de las condiciones normales de funcionamiento en lo que respecta a los parámetros de intensidad y tensión.

Las posibles consecuencias de estas anomalías en las instalaciones eléctricas son las siguientes:

- Calentamiento excesivo de los materiales.
- Riesgo de incendio.
- Deterioro o destrucción de los equipos.
- Interrupción del suministro eléctrico.
- Funcionamiento inadecuado de los receptores.

De entre todos los posibles defectos que pueden aparecer en una instalación eléctrica, los más destacables son las *sobretensiones*, las *subtensiones* y las *sobreintensidades*.

Sobretensiones

Una sobretensión, o exceso de tensión, es un **aumento del voltaje** dentro de una instalación eléctrica por encima de su valor normal de funcionamiento, o *valor nominal*.

Por ejemplo, si a una instalación industrial de baja tensión le llega una sobretensión de 2,5 kV, aunque sea solo durante unos pocos milisegundos, todos los equipos conectados en ese momento a la red eléctrica cuyo aislamiento no haya sido diseñado para soportar ese nivel de voltaje resultarían dañados.

Existen tres posibles tipos de sobretensiones: de origen atmosférico, de tipo maniobra y de frecuencia industrial.

- Las **sobretensiones de origen atmosférico** son las producidas por la descarga directa de un rayo en una instalación eléctrica. Son impulsos de alta amplitud con una frecuencia que alcanza aproximadamente un megahercio.
- Las **sobretensiones de tipo maniobra** son las debidas a la influencia de la descarga lejana del rayo, conmutaciones de la red, defectos de red, efectos inductivos, capacitivos, etc. Son ondas de oscilación amortiguadas con una frecuencia que varía de decenas a cientos de kilohercios.
- Las **sobretensiones de frecuencia industrial** se producen por defectos en el conductor neutro o fallos de aislamiento con respecto a masa o tierra. Son ondas que presentan la misma frecuencia que la red, con una tensión de amplitud 1,73 veces mayor que la nominal.

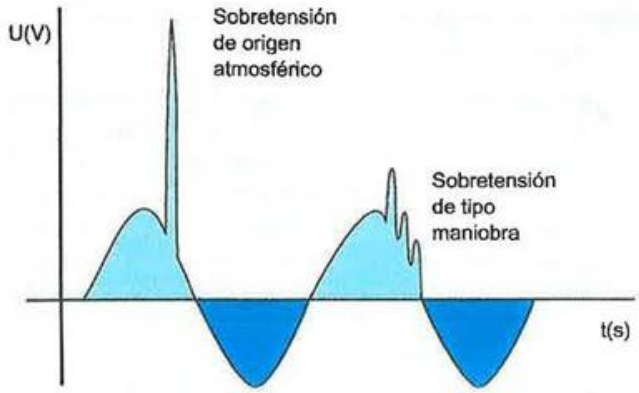


Figura 2.28. *Representación gráfica de las sobretensiones de mayor amplitud.*

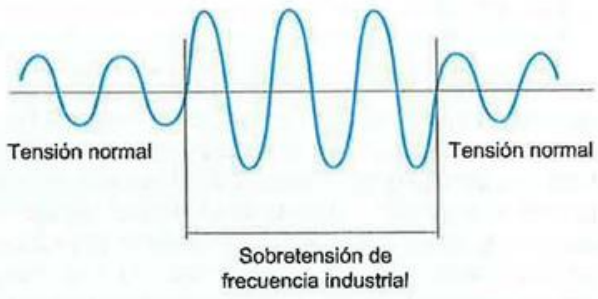


Figura 2.29. *Representación gráfica de la sobretensión de frecuencia industrial.*

Subtensiones

Una subtensión o caída de tensión es una **disminución del voltaje** dentro de una instalación eléctrica, ya sea hasta un valor determinado inferior al nominal o incluso hasta cero voltios (falta de tensión). Este tipo de defecto no suele producir daños directos en las instalaciones, pero puede provocar que los equipos y sistemas dejen de funcionar de manera intempestiva o lo hagan inadecuadamente.

SABÍAS QUE

Los efectos no deseados de las caídas de tensión en una instalación eléctrica se contrarrestan de diversas maneras, por ejemplo, mediante la instalación de sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI) o generadores alternativos (segundo suministro).

Sobreintensidades

La sobreintensidad, o exceso de corriente, es un **aumento de la intensidad** de corriente eléctrica en un circuito por encima de su valor normal de funcionamiento. Dependien-

do de sus características, las sobreintensidades pueden ser de dos tipos:

- **Sobrecarga:** es un aumento no demasiado elevado de la corriente por encima del valor nominal, pero con una duración larga o indeterminada, lo que acaba produciendo el calentamiento excesivo de los conductores y otros componentes. Se dice que son sobreintensidades de *tipo térmico*. Las sobrecargas suelen ser consecuencia de un mal dimensionado de la instalación, y se producen con mayor frecuencia en motores y transformadores.
- **Cortocircuito:** es un aumento muy elevado de la corriente, que puede alcanzar decenas de kiloamperios y cuya duración es muy breve (normalmente inferior a un segundo). Se dice que son sobreintensidades de *tipo magnético*. Los cortocircuitos pueden estar producidos por contactos entre los propios conductores o entre un conductor y tierra (cortocircuito franco).

Resultará imprescindible verificar que la intensidad nominal de un determinado circuito sea inferior a la intensidad máxima admisible del conductor de alimentación (para evitar sobrecalentamientos) e inferior también al calibre del dispositivo de protección, para evitar disparos por exceso de potencia. Debe existir un equilibrio entre estos tres valores para garantizar el correcto funcionamiento de la instalación, tal como se indica a continuación:

$$I_{\text{NOMINAL DEL CIRCUITO}} < I_{\text{DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN}} < I_{\text{MÁXIMA ADMISIBLE DEL CONDUCTOR}}$$

En base a esto, todo dispositivo de protección frente a sobreintensidades (ya sea térmico o magnético) debe garantizar que la corriente nunca supere un valor que pueda considerarse peligroso para la integridad de la instalación, asegurando además el correcto funcionamiento del sistema siempre que se encuentre dentro de los valores normales.

2.3.2. Riesgos eléctricos para las personas y los animales

El riesgo eléctrico se define como la posibilidad de que una persona o animal sufra una determinada lesión producida por el efecto nocivo derivado de la energía eléctrica.

Los valores de tensión e intensidad presentes en las instalaciones eléctricas, por tanto, pueden desencadenar situaciones de peligro hacia personas y animales debidas fundamentalmente a dos causas: *contactos eléctricos,* al penetrar la corriente en el organismo, o *incendios/explosiones* en materiales y equipos, producidos por cortocircuitos, chispas por malos contactos, sobrecargas muy elevadas, conductores que acaban quemando el aislante, etc.

Los incendios y las explosiones pueden evitarse en gran medida utilizando los dispositivos de protección adecuados de las instalaciones eléctricas. Respecto a los **contactos eléctricos**, conviene hacer una clasificación más detallada, ya que estos pueden ser de dos tipos:

- **Contactos directos:** son los contactos con los conductores activos de la instalación eléctrica (cualquiera de las fases o el neutro) o con piezas metálicas que se encuentran normalmente en tensión. La corriente que se establece tras un contacto directo se denomina **corriente de contacto** (I_s).

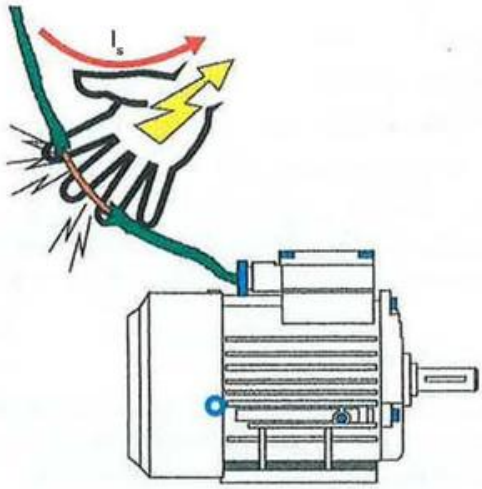


Figura 2.30. *Representación de un contacto directo.*

- **Contactos indirectos:** son los contactos con partes metálicas que accidentalmente se han puesto bajo tensión (*masas*), como consecuencia de un defecto de aislamiento. La corriente que se establece tras un contacto directo se denomina **corriente de defecto** (I_d).

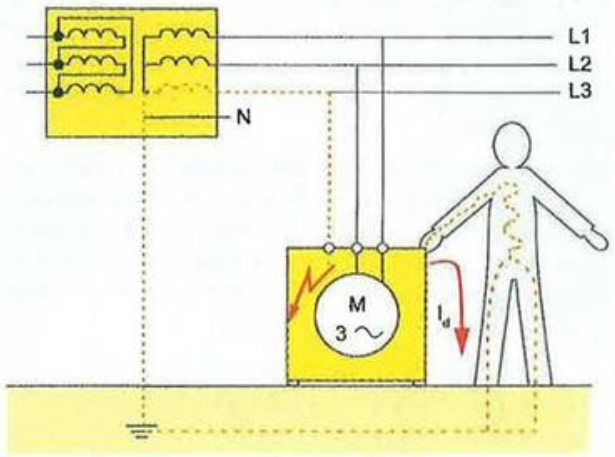


Figura 2.31. *Representación de un contacto indirecto.*

El efecto resultante del paso de corriente eléctrica a través del cuerpo humano o de un animal tras producirse un contacto directo o indirecto, se denomina **choque eléctrico**.

Las consecuencias que un choque eléctrico puede provocar en el organismo dependerán del valor de la **intensidad** de corriente, del valor de la **tensión** y del **tiempo** de exposición o de contacto. También influye la trayectoria que sigue la corriente por el cuerpo y si es de tipo alterna o continua.

SABÍAS QUE

La corriente eléctrica al penetrar en el organismo puede producir desde lesiones leves hasta la muerte. El valor de la intensidad eléctrica que se considera umbral de seguridad para una persona es igual a **30 mA** (0,03 A).

Dado el peligro que la electricidad entraña para los usuarios de las instalaciones, resulta obligatorio incluir en todos los circuitos elementos de protección que eviten o disminuyan las consecuencias de los contactos directos e indirectos. Estas medidas de protección pueden ser de tipo activo (interruptores diferenciales) o de tipo pasivo, como las que se enumeran a continuación:

- Puesta a tierra.
- Doble aislamiento.
- Separación de circuitos.
- Uso de tensiones de seguridad.
- Alejamiento de las partes activas.

2.3.3. Dispositivos de protección en las instalaciones de automatismos industriales

Para determinar los dispositivos de protección que deben formar parte de una determinada instalación eléctrica deben tenerse en cuenta las particularidades eventuales de los receptores, del circuito de alimentación, del entorno y del propio local. Asimismo, será necesario establecer las características de la aparamenta en correspondencia a las cargas y las corrientes de cortocircuito, bajo conceptos de filiación y selectividad.

Por otro lado, el tipo de protección frente a contactos directos e indirectos se determinará en función del esquema de distribución de neutro y masas que suministre energía a la instalación eléctrica (TT, IT o TN).

A continuación se describirán los principales dispositivos de protección presentes en las instalaciones eléctricas industriales y el tipo de función que cumplen, que previamente han sido resumidos en la Tabla 2.13.

Para poder llevar a cabo el estudio de los diferentes componentes que cumplen las funciones de protección, es imprescindible conocer ciertos conceptos asociados a los mismos, los cuales quedan definidos a continuación:

- **Corte omnipolar:** apertura de todos los conductores activos de un circuito, es decir las tres fases y el neutro, siempre que se distribuya. El corte omnipolar podrá ser simultáneo o no simultáneo.
- **Poder de corte:** expresado en amperios (A) o kiloamperios (kA), es la máxima intensidad que es capaz de

Tabla 2.13. Principales dispositivos de protección presentes en las instalaciones eléctricas industriales.

Dispositivo de protección	Protección que ofrece			
	Protección de la instalación eléctrica			Protección de personas y animales
	Cortocircuitos	Sobrecargas	Sobretensiones	
Fusible	✓	✓		
Relé térmico		✓		
Interruptor automático	✓	✓		
Limitador de sobretensiones			✓	
Interruptor diferencial				✓

aislar un dispositivo de protección cuando ya ha desconectado el circuito, antes de que se produzca un arco eléctrico entre sus contactos.

2.3.4. El cortacircuitos fusible

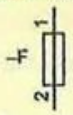
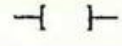
El cortacircuitos fusible, o simplemente fusible, es el dispositivo más antiguo para la protección de los circuitos eléctricos. Se trata de un elemento de protección muy fiable y económico, el cual tiene en su interior un material conductor (generalmente una aleación metálica con bajo punto de fusión formada por estaño, cobre o zinc) capaz de soportar un determinado valor de intensidad de corriente. Si la intensidad de un circuito aumenta por encima del valor que puede soportar el fusible, el material interno se romperá y el circuito quedará desconectado, evitando que resulte dañado algún otro componente o el cableado de la instalación. Se dice entonces que **el fusible se ha fundido**.

Puesto que el fusible se rompe cada vez que actúa, será **necesario reemplazarlo** por uno nuevo para poder conectar nuevamente el circuito, lo que en algunos casos puede suponer un problema para la continuidad de los procesos industriales.

En este sentido, determinados tipos de fusibles cuentan con un **elemento percutor**, que consiste en un dispositivo indicador de que el fusible se ha fundido. De esta manera se facilitan enormemente las tareas de mantenimiento y resolución de averías, especialmente en instalaciones de grandes dimensiones.

La instalación de los fusibles en los circuitos eléctricos se realiza mediante **bases portafusibles** cuya forma y método de apertura dependerá de cada tipo de fusible.

Tabla 2.14. Simbología asociada a los fusibles.

	Símbolo
Fusible	
Base portafusibles	

Los valores característicos asociados a los fusibles de baja tensión quedan definidos por los siguientes parámetros:

- Tipología y talla.
- Clase de servicio.
- Tensión nominal (V).
- Corriente nominal o calibre (A).
- Corriente de fusión.
- Poder de corte (kA).
- Diagrama de la característica intensidad/tiempo.
- Presencia de elemento percutor.
- Posición y características de montaje.
- Resistencia a las influencias climáticas.
- Temperatura de trabajo.

SABÍAS QUE

Los fusibles pueden encontrarse también dentro de un dispositivo o mecanismo para aumentar su nivel de seguridad.

Figura 2.32. *Fusible en el interior de una clavija para toma de corriente.*

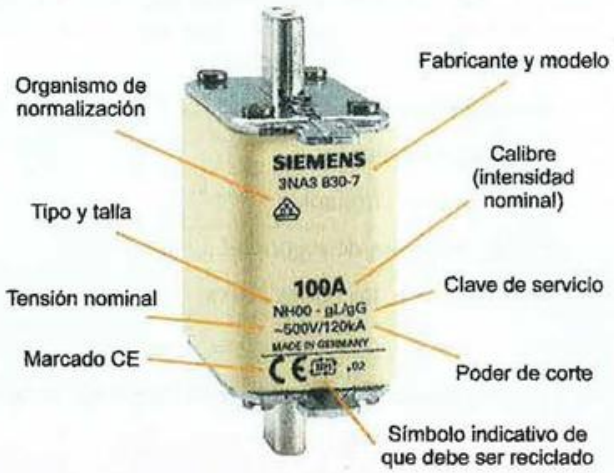


Figura 2.33. *Parámetros característicos de un fusible.*

Tipología de los fusibles

Los diferentes tipos de fusibles pueden ser de formas y tamaños muy diferentes en función de la intensidad a la que deben fundirse, la tensión de los circuitos donde se ubiquen y el método de instalación empleado. Existen básicamente tres formatos de fusible:

Tabla 2.15. Clasificación de los fusibles por su tipología.

Fusibles cilíndricos	Fusibles de rosca	Fusibles de cuchilla

- **Fusibles cilíndricos:** son fusibles que generalmente tienen un pequeño tamaño, de forma cilíndrica y con una intensidad nominal diseñada para proteger desde circuitos de maniobra o de muy poca potencia hasta circuitos de potencia media. El calibre de los fusibles cilíndricos puede variar entre 0,5 y 125 A y su poder de corte oscila desde 10 hasta 100 kA.

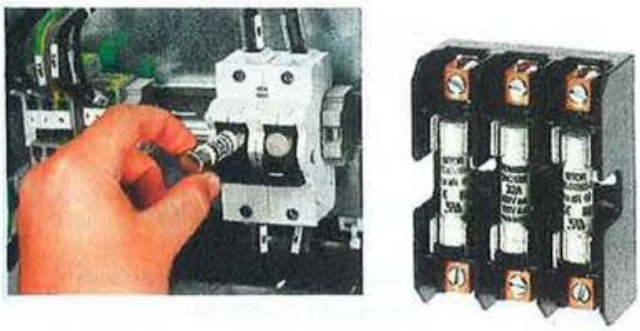


Figura 2.34. *Fusibles cilíndricos en base portafusibles. (Cortesía de Siemens.)*

- **Fusibles de rosca:** son fusibles de tamaño medio con una intensidad nominal diseñada para proteger circuitos de potencia baja e intermedia. El calibre de los fusibles cilíndricos puede variar entre 2 y 100 A y su poder de corte desde 60 hasta 100 kA. Existen básicamente dos modelos de fusibles de rosca, los denominados *DIAZED* y *NEOZED*.

Figura 2.35. *Fusibles de rosca tipo DIAZED. (Cortesía de Siemens.)*

Tabla 2.16. Relación talla-calibre en fusibles tipo DIAZED.

Talla	Calibre en amperios				
D01	2	4	6	10	16
D02	20	25	35	50	63
D03	80	100			

La base portafusibles en la que se ubican los diferentes fusibles DIAZED y NEOZED puede ser de tipo roscada o de presión:

Figura 2.36. *Base portafusibles de presión para fusibles NEOZED. (Cortesía de Siemens.)*

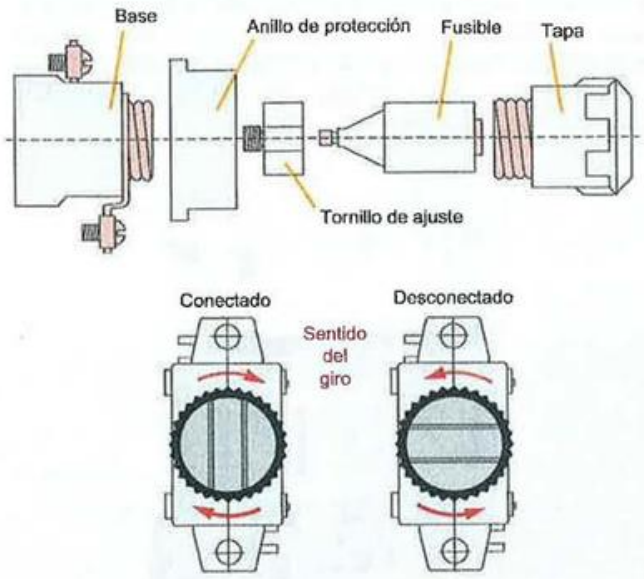


Figura 2.37. *Base portafusibles de rosca.*

- **Fusibles de cuchilla:** también conocidos como fusibles NH, son dispositivos de gran tamaño con una intensidad nominal diseñada para proteger circuitos de alta potencia, generalmente entre 50 y 1.250 A. Su poder de corte suele ser de 120 kA.

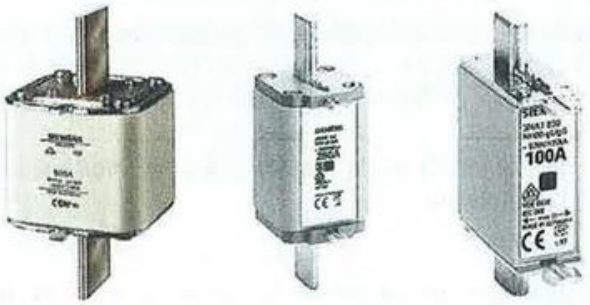


Figura 2.38. *Fusibles NH. (Cortesía de Siemens.)*

Tabla 2.17. Relación talla-calibre en fusibles de cuchilla NH.

Talla	Calibre en amperios													
00	50	63	80	100	125	160								
0		63	80	100	125	160								
1						160	200	250						
2								250	315	400				
3											500	630		
4													800	1.000

Dado que la intensidad nominal que puede llegar a recorrer estos fusibles en condiciones normales es muy elevada, es necesario que su instalación se realice en bases portafusibles especiales cuya apertura se efectúa a través de manetas, dispositivos rebatibles, lengüetas de empuñadura y dispositivos similares.

Figura 2.39. *Base portafusibles de cuchilla. (Cortesía de Siemens.)*

Clase de servicio de los fusibles

Otra clasificación de los diferentes tipos de fusibles se puede realizar atendiendo a la clase de servicio que prestan en las instalaciones eléctricas, quedando identificados por **dos letras**:

- Primera letra: indica la función de protección que realiza el fusible.
- Segunda letra: indica el tipo de receptor a proteger.

Los fusibles más utilizados en las instalaciones de automatismos industriales son de tipo gL, gM, gR, gG, aM y aR.

Tabla 2.18. Código de identificación de los fusibles.

Primera letra	g	Fusibles de uso general, protegen frente a sobrecargas y cortocircuitos.
	a	Fusibles de acompañamiento, protegen solo frente a cortocircuitos. Deben estar siempre acompañados de otro dispositivo de protección.
Segunda letra	G	Fusibles de uso general.
	M	Fusibles para la protección de motores.
	R	Fusibles de actuación rápida, para la protección de equipos electrónicos.
	D	Fusibles con tiempo de actuación retardado.
	L	Fusibles para la protección de cables y conductores.
	B	Fusibles para la protección de líneas eléctricas de gran longitud.

RECUERDA

En las instalaciones eléctricas de baja tensión, especialmente en las de tipo industrial, es frecuente ubicar los fusibles en el interior de un **seccionador** diseñado para tal fin. Esta combinación se utiliza para aumentar el poder de corte que ofrece el fusible, haciendo más fiable la protección.

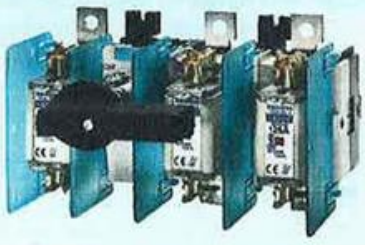


Figura 2.40. *Conjunto seccionador-fusible, con un alto poder de corte. (Cortesía de Siemens.)*

Diagrama de la característica intensidad/tiempo de un fusible

La capacidad de protección que un fusible es capaz de aportar cuando es ubicado en un circuito eléctrico se puede obtener a partir de su corriente nominal o calibre. Sin embargo, también es importante poder determinar el tiempo que tarda en actuar el dispositivo en función del valor de la intensidad de defecto que circule por la línea afectada por un defecto. Esto se consigue mediante la curva característica intensidad/tiempo:

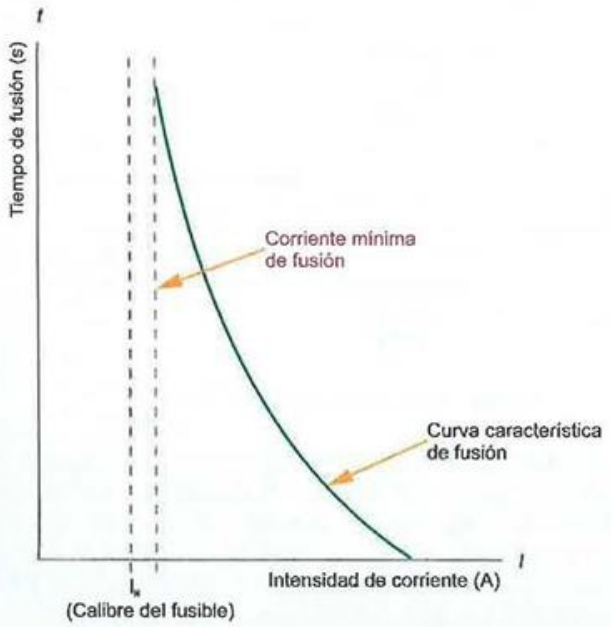


Figura 2.41. *Curva característica intensidad/tiempo de un fusible.*

- En el **eje vertical** se representa el tiempo, expresado en segundos o milisegundos, que tarda el fusible en actuar. Se denomina generalmente como *tiempo de prearco* o *tiempo de fusión virtual*, y es exactamente el tiempo que transcurre desde el momento en que se produce el defecto hasta que se inicia la fusión.
- En el **eje horizontal** se expresa la intensidad de corriente que hará actuar al dispositivo. Este parámetro puede ser expresado en amperios de corriente eficaz (A) o hacer referencia a la intensidad nominal del fusible ($n \times Ir$).

Es importante destacar que aunque la curva acaba en un determinado valor de intensidad, el fusible será capaz de cortar y aislar corrientes mucho mayores. Este dato, que es en definitiva el poder de corte del dispositivo, debe proporcionarlo el fabricante al no poder obtenerse de la gráfica.

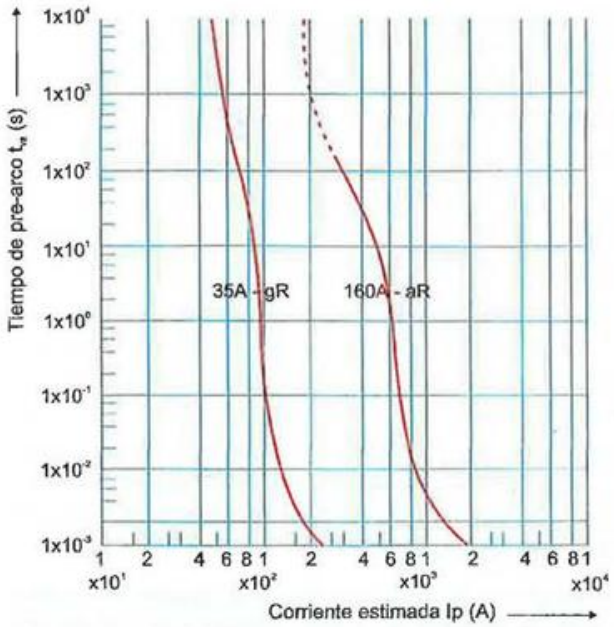


Figura 2.42. *Curva característica intensidad/tiempo, aportada por el fabricante, de fusibles tipo gR y aR, de 35 y 160 A respectivamente.*

SABÍAS QUE

Existen otros tipos de gráficas o curvas asociadas a los fusibles, como son la *curva de valores de fusión* o el *diagrama de limitación de la corriente.*

Actividad propuesta 2.4

En la siguiente imagen se muestra un fusible. Analiza sus características y responde a las siguientes preguntas:

a) ¿Qué tipo de fusible es?

b) ¿Cuál es la intensidad nominal del fusible? ¿Qué expresa este valor?

c) Si se produce una sobrecarga igual a la intensidad nominal del fusible, ¿qué ocurriría?

d) ¿Cuál es la tensión nominal del fusible? ¿Qué expresa este valor?

e) ¿Podríamos utilizar este fusible para proteger un circuito de alumbrado que utiliza un cable flexible de cobre de 1,5 mm², cuya intensidad máxima admisible es de 10 A?

Control y monitoreo de fusibles

En ocasiones sucede que en las instalaciones trifásicas, tras producirse un defecto de tipo sobreintendad en una de las líneas de alimentación, solamente actúa y se funde uno de los tres fusibles que protegen el circuito de fuerza. En estas situaciones resulta muy probable que alguno de los otros dos fusibles haya resultado dañado, a pesar de no haber actuado, especialmente si se trata de fusibles de pequeño amperaje.

Ante estas situaciones es recomendable sustituir los fusibles de las tres fases, o como mínimo, revisar adecuadamente el correcto estado de los mismos antes de volver a poner en funcionamiento el circuito afectado.

En instalaciones de automatismos muy avanzadas, además, resulta posible monitorizar el estado de un grupo de fusibles mediante un dispositivo denominado **vigilador o controlador de fusibles**.

El uso de estos equipos está orientado fundamentalmente a aquellos fusibles que no pueden equiparse de un contacto de señalización de fusión, permitiendo su integración en los circuitos de señalización centralizada para mejorar la disponibilidad de la instalación y la localización del defecto.

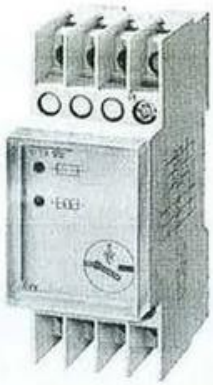


Figura 2.43. *Controlador de fusibles. (Cortesía de Siemens.)*

2.3.5. El relé térmico

El relé térmico es un dispositivo de protección de las instalaciones eléctricas diseñado para actuar frente a sobreintensidades de tipo sobrecarga. Su utilización está estrechamente ligada a la protección de circuitos que alimentan a motores.

El elemento fundamental de un relé térmico contra sobrecargas es una lámina bimetálica, constituida por la unión de dos metales con diferente coeficiente de dilatación (diferente conductividad térmica), siendo generalmente el de la parte superior más sensible a los cambios de temperatura.

Cuando la corriente que atraviesa el circuito es inferior o igual a la nominal, el calor producido será disipado sin dificultad por ambos metales. Sin embargo, en el instante en el que empiece a circular una corriente ligeramente superior a la nominal (sobrecarga del circuito), la lámina bimetálica no podrá disipar todo el calor y cada uno de los metales comenzará a dilatarse de manera desigual, con lo que la lámina comenzará a **curvarse**. Al llegar esta curvatura a un punto determinado entrará en contacto con un elemento metálico correspondiente al circuito de maniobra del relé, abriendo o cerrando los contactos auxiliares.

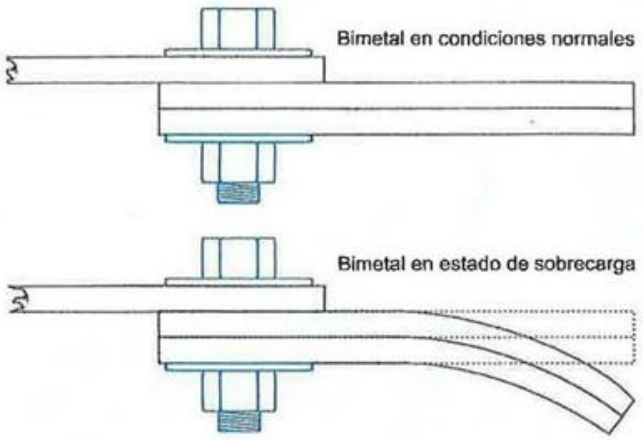


Figura 2.44. *Principio de funcionamiento del relé térmico.*

La **desconexión** por sobrecarga de un relé térmico se produce siempre en el **circuito de maniobra**, mediante la utilización de un contacto auxiliar normalmente cerrado (NC) en serie con el circuito. También es común utilizar el contacto normalmente abierto (NO) del relé térmico para indicar visualmente que se ha disparado el dispositivo.

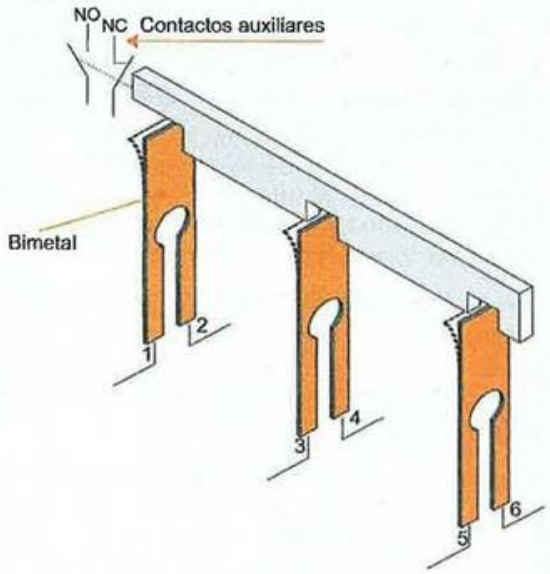


Figura 2.45. *Estructura interna del relé térmico.*

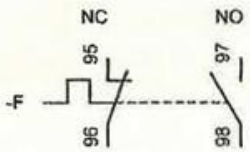
SABÍAS QUE

La lámina bimetálica de un relé térmico suele estar compuesta de dos aleaciones metálicas llamadas *invar* (bajo coeficiente de dilatación) y *ferroníquel* (alto coeficiente de dilatación).

El proceso de calentamiento del bimetal puede ser de dos tipos:

- **Directo:** si la corriente atraviesa íntegramente la lámina. Se utiliza en instalaciones de pequeña potencia (intensidad nominal reducida).
- **Indirecto:** si la corriente circula a través de un arrollamiento calefactor que rodea la lámina o la lectura se hace a través de transformadores de intensidad. Se utiliza en instalaciones de gran potencia, con intensidades muy elevadas.

Tabla 2.19. Simbología asociada al relé térmico.

	Símbolo
Relé térmico	
Contactos auxiliares del relé térmico	

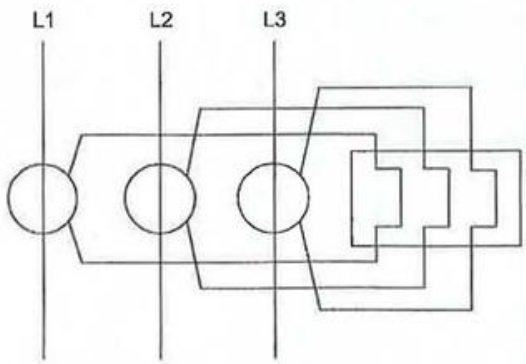


Figura 2.46. *Medida indirecta de intensidad por parte de un relé térmico.*

Otra clasificación de los relés térmicos puede realizarse en función de la forma constructiva y del tipo de conexión al circuito de potencia. Normalmente estos dispositivos de protección disponen de varias barras metálicas en la parte superior para ser acoplados directamente al contactor. Otros modelos se caracterizan por ser independientes, disponiendo de bornes de conexión al circuito de fuerza tanto en la parte inferior como en la superior.

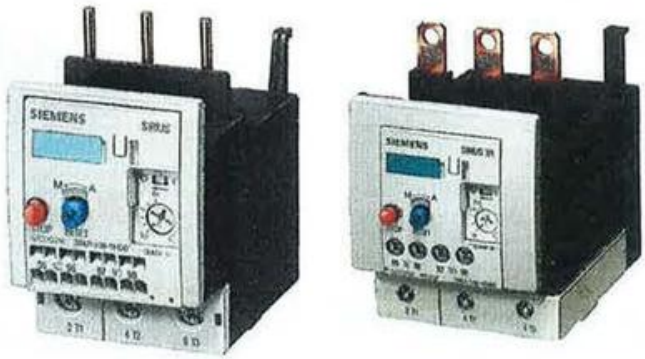


Figura 2.47. *Relés térmicos de conexión directa a contactor.*

Figura 2.48. *Relé térmico de conexión independiente.*

Los valores característicos asociados a los relés térmicos quedan definidos por los siguientes parámetros:

- Tensión nominal (V).
- Intensidad nominal (A).
- Intensidad o amplitud de reglaje.
- Contactos auxiliares.
- Características de montaje y forma constructiva.
- Temperatura de trabajo.

SABÍAS QUE

La combinación entre un contactor y un relé térmico cuando se encuentran acoplados suele denominarse *discontactor*.

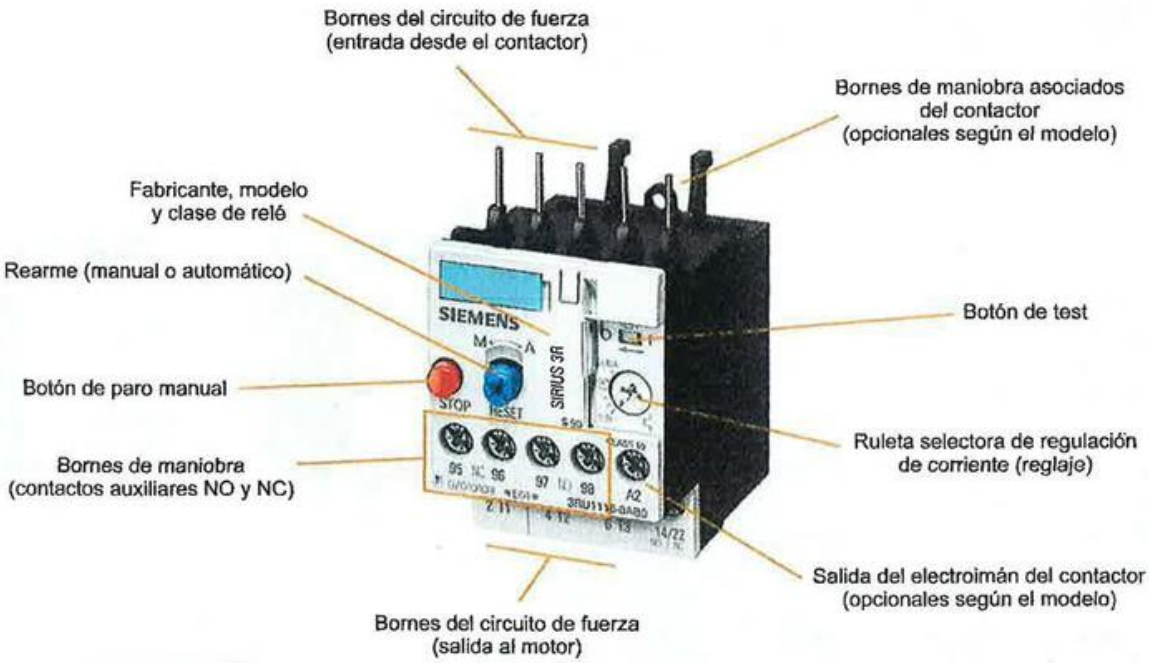


Figura 2.49. *Características de un relé térmico.*

En los relés térmicos, puesto que disponen de una ruleta selectora de **reglaje**, es posible seleccionar la intensidad a la que actuará el dispositivo entre unos márgenes predefinidos por el fabricante. Para establecer una corriente de reglaje adecuada, debe tenerse en cuenta la **potencia del motor**, su **factor de potencia** y el **nivel de sobrecarga** al que puede trabajar.

Cabe destacar que los relés térmicos comercializados en la actualidad, además de ofrecer protección frente a sobrecargas, son capaces de realizar otras funciones como:

- Detección fallo de fase.
- Protección frente a desequilibrio de fases.
- Compensación automática a temperatura ambiente.

Estos dispositivos, sin embargo, deben ir **siempre acompañados** en los circuitos eléctricos por dispositivos de protección frente a sobreintensidades de tipo cortocircuito, ya que en estos casos, dado que la intensidad de defecto es muy elevada pero dura poco tiempo, el bimetal del relé térmico no tiene tiempo de calentarse y la protección térmica no resulta suficiente para garantizar la seguridad.

RECUERDA

En todos los circuitos de una instalación eléctrica debe quedar garantizada la protección frente a sobrecargas, frente a cortocircuitos y frente a contactos directos e indirectos.

Tabla 2.20. Asociación entre relés térmicos y fusibles para la protección de circuitos. (Recomendaciones de Schneider Electric.)

Zona de ajuste de relé	Fusible para asociar al relé	
	aM	gG
0,11 ... 0,16 A	0,25 A	0,5 A
0,16 ... 0,23 A	0,25 A	0,5 A
0,23 ... 0,36 A	0,5 A	1 A
0,36 ... 0,54 A	1 A	1,6 A
0,54 ... 0,8 A	1 A	2 A
0,8 ... 1,2 A	2 A	4 A
1,2 ... 1,8 A	2 A	6 A
1,8 ... 2,6 A	2 A	6 A
2,6 ... 3,7 A	4 A	10 A
3,7 ... 5,5 A	6 A	16 A
5,5 ... 8 A	8 A	20 A
8 ... 11,5 A	10 A	25 A

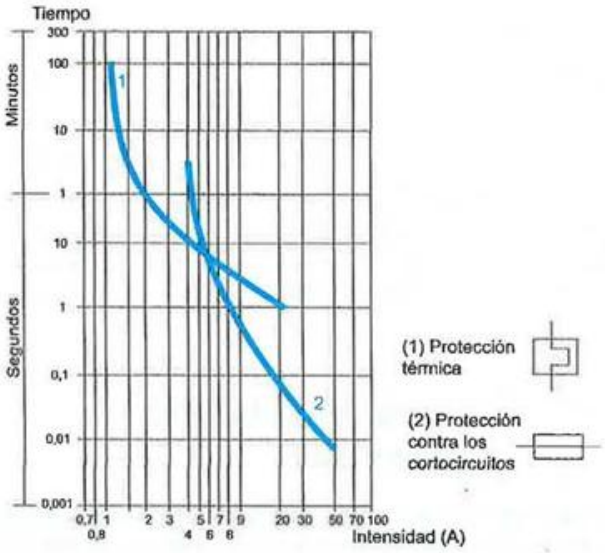


Figura 2.50. *Curva característica intensidad/tiempo resultante de la combinación en un circuito eléctrico de un fusible y un relé térmico.*

2.3.6. El interruptor automático

El interruptor automático es un dispositivo de protección que se basa en el mismo principio de funcionamiento del fusible, pero con la ventaja de que no tiene que ser sustituido cada vez que se produce una sobreintensidad.

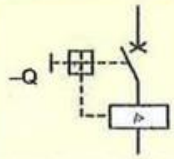
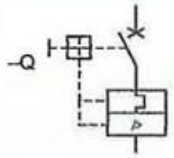
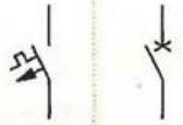
Los interruptores automáticos se clasifican en dos grupos en función del tipo de protección que ofrecen:

- **Interruptor automático magnético:** protege únicamente frente a sobreintensidades de tipo magnético (cortocircuitos). Su uso no es muy frecuente en las instalaciones eléctricas convencionales, aunque en los circuitos industriales que alimentan a motores eléctricos suele utilizarse en combinación con relés térmicos.
- **Interruptor automático magnetotérmico:** protege frente a sobreintensidades de tipo térmico y magnético (sobrecargas y cortocircuitos). Este es el dispositivo de protección más utilizado en las instalaciones eléctricas. De hecho, en la práctica, al hacer referencia a un interruptor automático se hace referencia por defecto a los de tipo magnetotérmico. También resulta posible referirse a este dispositivo como **disyuntor.**

Este componente consta de un resorte interno que actúa y desconecta un circuito cuando se sobrepasa la intensidad para la que ha sido diseñado.

La zona de disparo magnético se basa en una cámara de extinción del arco y un electroimán que activa el muelle que controla la maneta del interruptor. La zona de disparo térmico se basa en láminas bimetálicas con el mismo principio de funcionamiento que los relés térmicos.

Tabla 2.21. Simbología asociada a los interruptores automáticos.

	Símbolo normalizado	Símbolo simplificado
Interruptor automático magnético		
Interruptor automático magnetotérmico		

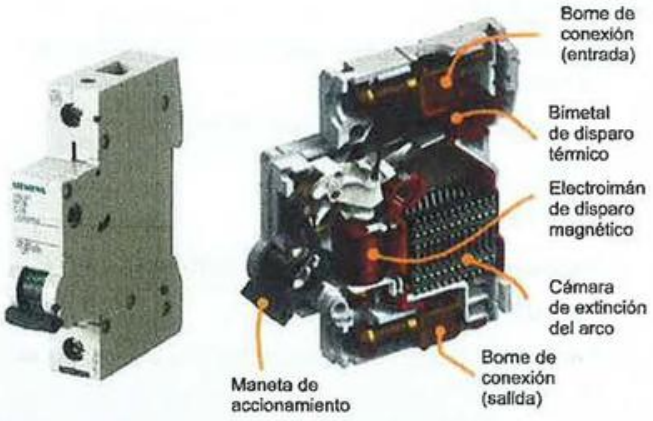


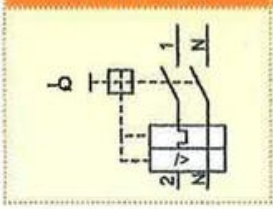
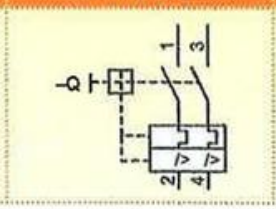
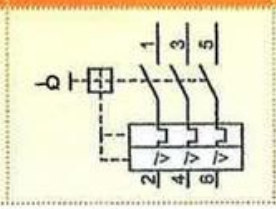
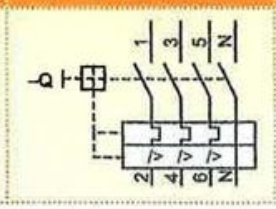
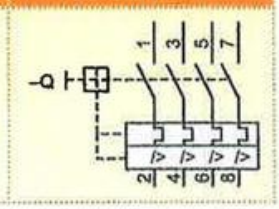
Figura 2.51. *Vista interna y externa de un interruptor automático magnetotérmico.*

Cuando el dispositivo actúa y desconecta el circuito, se dice entonces que **se ha disparado** el interruptor. Para volver a conectar el circuito una vez corregido el defecto que ha producido la sobreintensidad basta con accionar de nuevo la maneta del interruptor, acción que se conoce como **rearme.**

Los interruptores automáticos deben ser siempre de **corte omnipolar simultáneo**, es decir, deben poder desconectar todos los conductores activos del circuito que protegen, fases y neutro, en caso de defecto. (Esto no es aplicable en el caso de los interruptores de control de potencia, puesto que su función no es la de protección, sino la de control.)

La medida de la intensidad, sin embargo, el dispositivo podrá realizarla sobre las fases y el neutro o únicamente sobre las fases. En este último caso, resulta indispensable **respetar el borne del conductor neutro** a la hora de realizar la conexión del cableado.

Tabla 2.22. Interruptores automáticos en función del tipo de corte.

Bipolar (polo + neutro)	Bipolar (dos polos)	Tripolar	Tetrapolar (tres polos + neutro)	Tetrapolar (cuatro polos)
				

Características de los interruptores automáticos magnetotérmicos

Los valores característicos asociados a los interruptores automáticos magnetotérmicos quedan definidos por los siguientes parámetros:

- Tipología del interruptor automático (industrial o doméstico).
- Intensidad nominal o de disparo (A).
- Tensión nominal (V).
- Poder de corte (A o kA).
- Curva de disparo (característica intensidad/tiempo).
- Número de polos.
- Polaridad (en algunos interruptores se marca el borne de neutro).
- Temperatura de trabajo.
- Endurancia mecánica.
- Endurancia eléctrica.

Tipos de interruptores automáticos magnetotérmicos

Los interruptores automáticos pueden ser clasificados en dos grupos distintos en función de su forma y tamaño: *domésticos* e *industriales*.

- **Interruptores automáticos domésticos:** se utilizan para proteger los circuitos de pequeña o mediana potencia, siendo los más comunes dentro de las instalaciones eléctricas convencionales. En instalaciones industriales también son muy usados para la protección de circuitos de maniobra, alumbrado y fuerza, siempre que la potencia de los receptores no supere los 86,6 kW.

SABÍAS QUE

Existe un tipo de interruptor automático doméstico compacto denominado **DPN**. Gracias a estos dispositivos resulta posible reducir el tamaño de los cuadros eléctricos, ya que ocupan exactamente la mitad de espacio que los convencionales.

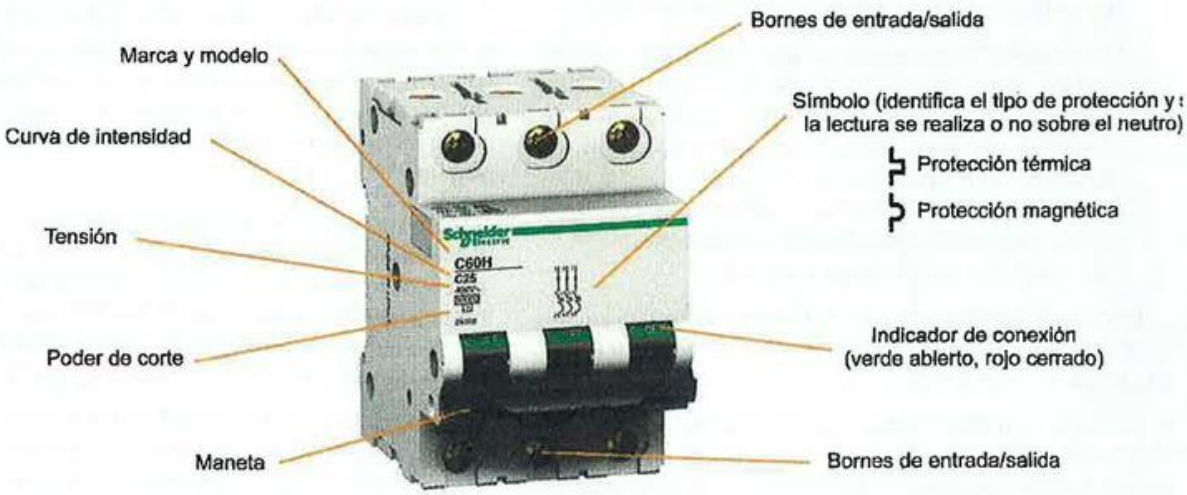


Figura 2.52. *Parámetros característicos de un interruptor automático.*

Los interruptores automáticos domésticos que se comercializan en la actualidad pueden tener los siguientes valores de intensidad nominal:

Tabla 2.23. Intensidades nominales de los interruptores automáticos domésticos.

1 A	2 A	6 A	10 A	16 A	20 A	25 A
32 A	40 A	50 A	63 A	80 A	100 A	125 A

La denominación práctica de los interruptores automáticos domésticos se realiza atendiendo a su intensidad nominal y número de polos. Por ejemplo, un interruptor bipolar de 16 A se denomina como "2x16A", un interruptor tetrapolar de 40 A se denomina como "4x40A", etc.

Figura 2.53. *Interruptor automático doméstico DPN 2x16 A (polo + neutro). (Cortesía de Siemens.)*

Figura 2.54. *Interruptor automático doméstico 2x16A. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 2.55. *Interruptor automático doméstico 3x16A. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 2.56. *Interruptor automático doméstico 4x16A. (Cortesía de Siemens.)*

- **Interruptores automáticos industriales:** están diseñados para circuitos eléctricos de gran potencia, donde solo pueden ser manipulados por personal autorizado con los conocimientos técnicos adecuados. Suelen encontrarse ubicados en los cuadros generales de grandes instalaciones como naves industriales, hospitales, talleres, estadios deportivos, edificios de gran envergadura, etc. También es frecuente su uso para alimentar maquinaria industrial cuya intensidad nominal supera los 125 A.

  Los interruptores automáticos industriales pueden clasificarse en dos subgrupos:

  — **Interruptores automáticos industriales de caja moldeada:** diseñados para circuitos de mediana potencia. En la actualidad se fabrican interruptores de caja moldeada con intensidades que oscilan entre los 25 y los 3.200 A.

Figura 2.57. *Interruptores automáticos de caja moldeada de tres y cuatro polos.*

  — **Interruptores automáticos industriales de bastidor abierto:** diseñados para máquinas de alta potencia o para la cabecera de los cuadros generales de las grandes instalaciones. Se fabrican de intensidades nominales que pueden llegar a los 6.000 A.

Figura 2.58. *Interruptor automático de bastidor abierto.*

SABÍAS QUE

Los interruptores industriales de bastidor abierto en ocasiones son tan grandes que es necesario hacer uso de herramientas mecánicas específicas para poder rearmarlos.

Curvas de disparo

El diagrama de la característica intensidad/tiempo de un interruptor automático se conoce como curva de disparo. La curva tiene dos zonas bien diferenciadas, una en la que el disparo se produce tras un largo período de tiempo para bajas intensidades de defecto (zona de sobrecarga) y otra en la que el disparo es prácticamente instantáneo para intensidades muy elevadas (zona de cortocircuito).

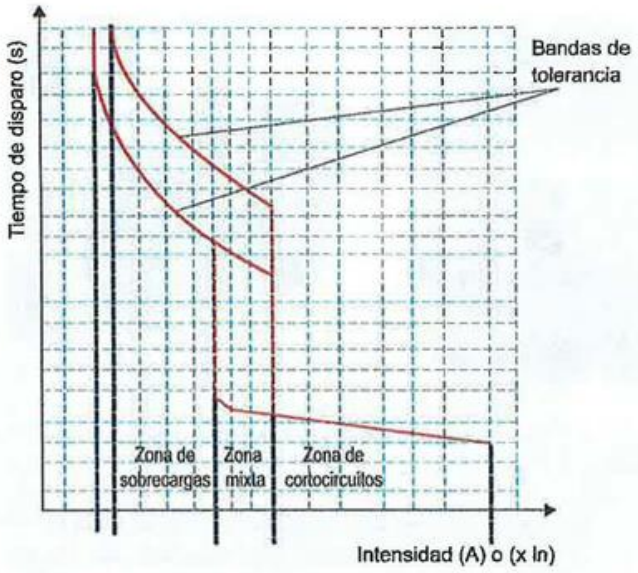


Figura 2.59. *Representación de la curva de disparo de un interruptor automático.*

Todas las curvas de disparo de los interruptores **automáticos domésticos** se encuentran normalizadas y clasificadas por letras en función de su uso y características de protección. Las de mayor uso en las instalaciones eléctricas son las siguientes:

- **Curva B:** protección magnetotérmica de generadores, personas y cables de gran longitud. Disparo entre 3 y 5 veces la intensidad nominal. Recomendada en sistemas TN e IT.
- **Curva C:** protección magnetotérmica de circuitos básicos (alumbrado, tomas de corriente y otras aplicaciones generales). Disparo entre 5 y 10 veces la intensidad nominal.
- **Curva D:** protección magnetotérmica de cables en los que los receptores presentan fuertes puntas de arranque, como motores y transformadores. Disparo entre 10 y 14 veces la intensidad nominal.
- **Curva K:** protección magnetotérmica de cables en los que los receptores presentan fuertes puntas de arranque o elevada corriente absorbida. Disparo entre 10 y 14 veces la intensidad nominal.
- **Curva Z:** protección magnetotérmica para circuitos electrónicos. Disparo entre 2,4 y 3,6 veces la intensidad nominal.
- **Curva MA:** protección exclusivamente magnética para el arranque de motores. Disparo fijado a 12 veces la intensidad nominal.
- **Curva ICP:** es una curva especial para dispositivos de control de potencia.

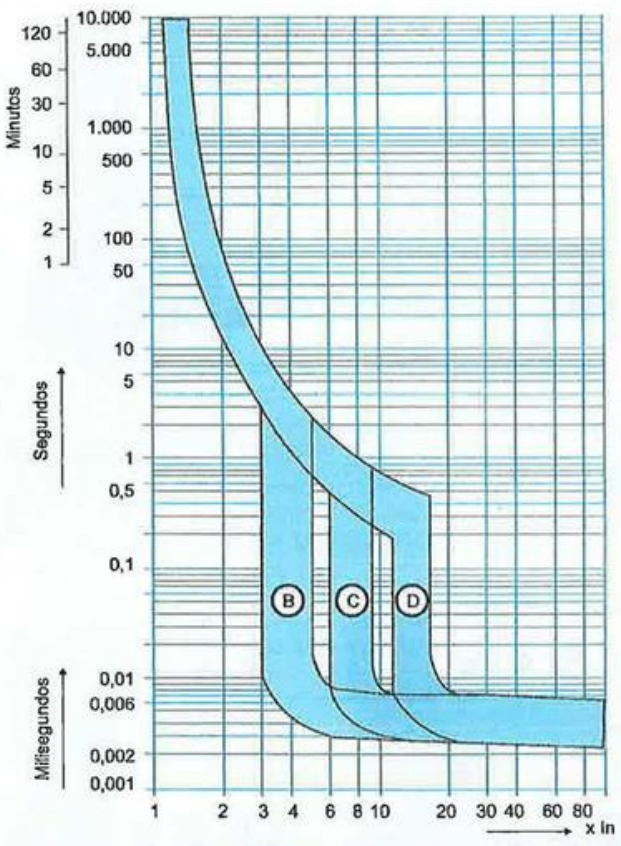


Figura 2.60. *Representación de las curvas de disparo B, C y D.*

Las curvas de disparo de los interruptores **automáticos de tipo industrial** son similares a las anteriores, pero estos equipos tienen la peculiaridad de poder ser regulados en este sentido.

En la parte frontal de un interruptor automático industrial se disponen una serie de ruletas selectoras (o un *display* digital en los modelos más modernos) a través de las cuales es posible modificar la intensidad y el tiempo de disparo dentro de unos márgenes predefinidos, tanto de la zona de sobrecarga como de la zona de cortocircuito.

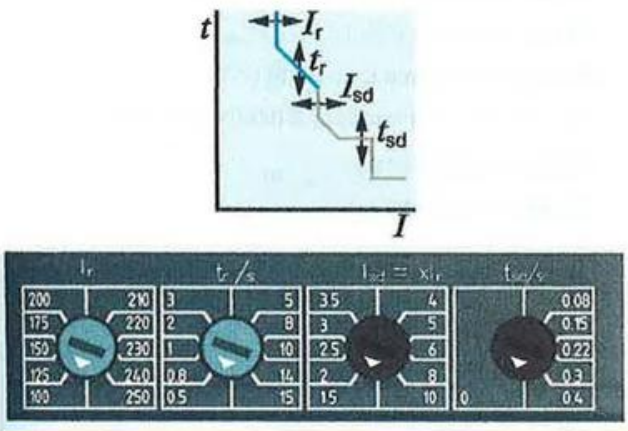


Figura 2.61. *Ruletas de reglaje de un interruptor automático de caja moldeada de 250 A.*

Actividad propuesta 2.5

A continuación se exponen diferentes tipos de cargas eléctricas. En cada uno de los casos, razona adecuadamente el tipo de interruptor automático que seleccionarías para realizar la protección más adecuada. Debes indicar el tipo de interruptor automático, y cuando sea posible, su número de polos, su intensidad nominal y curva de disparo.

a) Motor eléctrico trifásico de 5,5 kW.

b) Toma de corriente en una vivienda.

c) Cuadro secundario de un edificio con régimen de neutro tipo IT cuya carga asociada se estima en 60 kW.

d) Circuitos de alumbrado de una instalación industrial.

e) Componentes electrónicos muy sensibles.

f) Máquina eléctrica rotativa (trifásica) de 25 kW con fuertes puntas de arranque.

g) Cuadro general de baja tensión de una fábrica de grandes dimensiones.

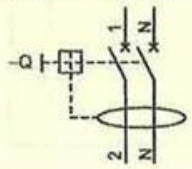
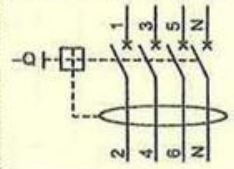
h) Horno eléctrico monofásico de 20 A de intensidad nominal.

2.3.7. El interruptor diferencial

Cuando en una instalación eléctrica se produce un contacto, sea de tipo directo o indirecto, aparece una **corriente de falta o de fuga** que se deriva hacia tierra. Esta corriente será conducida por los conductores de protección en el caso de contactos indirectos y por el propio cuerpo humano en el caso de contactos directos.

El interruptor diferencial, también conocido como *dispositivo diferencial residual* (DDR), es un elemento de protección capaz de detectar las corrientes de fuga cuando tienen un valor lo suficientemente pequeño como para que no puedan afectar a la integridad de las personas, desconectando automáticamente el circuito en el que se ha producido la **derivación**.

Tabla 2.24. Simbología asociada a los interruptores diferenciales.

	Símbolo normalizado (circuitos monofásicos)	Símbolo normalizado (circuitos trifásicos)
Interruptor diferencial		

SABÍAS QUE

Las instalaciones eléctricas a las que se suministra energía mediante el esquema de distribución TT (la gran mayoría) deben contar obligatoriamente con dispositivos DDR que protejan todos los circuitos y receptores.

Principio de funcionamiento del interruptor diferencial

El interruptor diferencial debe disponer siempre de un borne para conectar el conductor neutro, puesto que el dispositivo se encarga de controlar que la corriente que entra al circuito por la fase sea la misma que sale por el conductor neutro.

En este sentido, y analizando la siguiente Figura 2.62, resulta muy sencillo comprender su funcionamiento:

Si la corriente de retorno I_2 es menor que la corriente de entrada I_1, significa que en el circuito protegido, aguas abajo del dispositivo, hay una corriente de derivación hacia tierra (a través del conductor de protección o de una persona), cuyo valor será la diferencia entre I_1 e I_2.

Esta diferencia entre la corriente de entrada y la de salida hace que se produzca un flujo magnético en el toroide del interruptor que genera la corriente de disparo I_3, que accionará el dispositivo, desconectando el circuito.

La lectura de las corrientes del circuito puede ser directa (si atraviesan internamente el dispositivo) o indirecta (si la lectura se hace a través de transformadores de intensidad *toroidales*). Como resulta evidente, la lectura indirecta está

recomendada para circuitos de media y alta potencia. En estos casos el dispositivo de protección se denomina **relé diferencial**, y la desconexión del circuito afectado la realiza un interruptor automático de tipo industrial asociado a este.

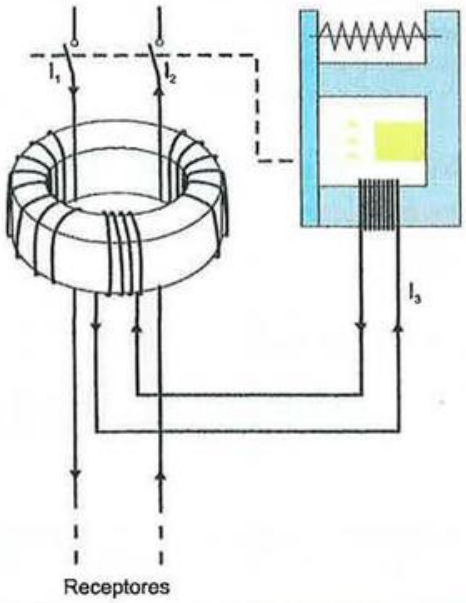


Figura 2.62. *Principio de funcionamiento del interruptor diferencial.*

Figura 2.63. *Interruptor diferencial monofásico. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 2.64. *Interruptor diferencial trifásico. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 2.65. *Relé diferencial. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 2.66. *Toroidal de medida indirecta. (Cortesía de Schenider Electric.)*

Características de los interruptores diferenciales

Los valores característicos asociados a los interruptores diferenciales quedan definidos por los siguientes parámetros:

- Tipología del interruptor diferencial.
- Tensión nominal (V).
- Intensidad nominal de trabajo (A).
- Sensibilidad, o intensidad o de disparo (A).
- Tiempo de disparo (s).
- Número de polos.
- Polaridad (en algunos diferenciales se marca el borne de neutro).
- Temperatura de trabajo.
- Endurancia mecánica.
- Endurancia eléctrica.

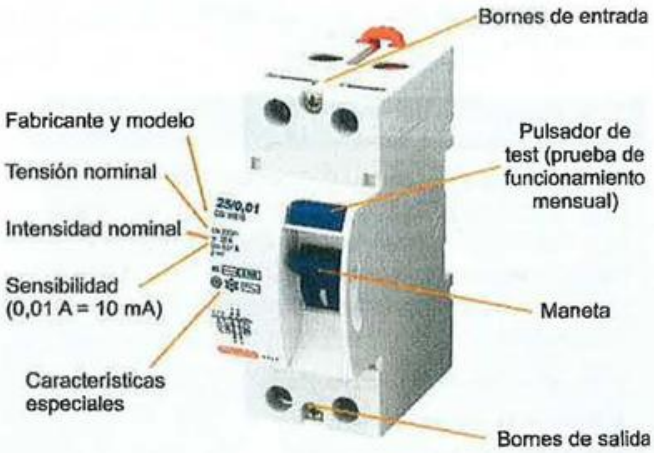


Figura 2.67. *Parámetros característicos de un interruptor diferencial.*

SABÍAS QUE

Es muy importante que los interruptores diferenciales se conecten junto a dispositivos de protección magnetotérmica que garanticen que no se supera su intensidad nominal, de lo contrario el diferencial podría quemarse. Cuando esto ocurre se dice que el interruptor diferencial está *protegido*.

Sensibilidad de disparo

La sensibilidad del interruptor diferencial es la característica fundamental del dispositivo, pues determina la máxima corriente de fuga que va a dejar circular por un circuito

antes de actuar y desconectarlo. Cuanto más pequeña sea la sensibilidad del diferencial, más protegido estará el circuito.

Los interruptores diferenciales convencionales poseen una sensibilidad fija, la cual debe estar normalizada en uno de los valores que se muestran a continuación:

Tabla 2.25. Valores de sensibilidad de los interruptores diferenciales domésticos.

Sensibilidad		Aplicaciones
Alta sensibilidad	10 mA	Circuitos críticos para la seguridad de las personas. Utilizados en ambientes con presencia constante de humedad, tales como saunas, equipos de hidromasaje, etc.
	30 mA	Cualquier circuito que alimente receptores que vayan a ser manipulados por personas (es la máxima sensibilidad permitida en viviendas por el REBT).
Baja sensibilidad	100 mA	Cuadros eléctricos secundarios.
	300 mA	Cuadros eléctricos generales, protección de maquinaria de gran potencia, instalaciones de alumbrado exterior.
	500 mA	Cuadros eléctricos generales.

SABÍAS QUE

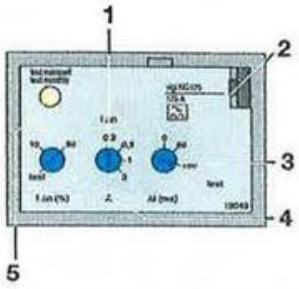
Para garantizar la seguridad e integridad de las personas, el Reglamento de Baja Tensión establece que los circuitos deben estar protegidos frente a corrientes diferenciales de manera que se garantice que a una persona no pueda atravesarla una corriente mayor a 30 mA, durante como máximo 310 milisegundos.

La denominación práctica de los interruptores diferenciales se realiza atendiendo a su intensidad nominal, número de polos y sensibilidad. Por ejemplo, un interruptor diferencial monofásico de 16 A y 30 mA se denomina como "2x16A/30", un interruptor diferencial trifásico de 125 A y 300 mA se denomina como "4x125A/300", etc.

Los interruptores diferenciales de tipo relé, al contrario de lo que ocurre con los convencionales, pueden ser **regulados** tanto en intensidad como en tiempo de disparo.

Generalmente, el reglaje de la sensibilidad puede establecerse entre 0,03 y 3 A, y el valor del tiempo de disparo entre 0,01 y 5 segundos.

Esta característica asociada a los relés diferenciales hace que sean muy utilizados en las instalaciones industriales.



1 Regulación de la sensibilidad.
2 Dispositivo para la desconexión
3 Regulación del tiempo de retardo.
4 Regulación del umbral de alarma.
5 Indicador luminoso de alarma.

Figura 2.68. *Vista frontal de la zona de reglaje de un relé diferencial.*

Clasificación de los interruptores diferenciales

Además de los interruptores diferenciales ya estudiados, de tipo convencional y relé, se puede ampliar la clasificación de estos dispositivos más compleja, atendiendo a características específicas de su funcionamiento:

- Interruptor diferencial selectivo o **superinmunizado** ("*Si*"). Discrimina perturbaciones en la red y las ondas armónicas, evitando disparos intempestivos.
- Interruptor diferencial **rearmable**. La reconexión del dispositivo se realiza automáticamente en caso de que la derivación no sea permanente.
- Interruptor automático diferencial tipo **Vigi**. Se trata de un bloque formado por un interruptor diferencial y un interruptor automático. Con este componente se facilitan las conexiones, queda siempre garantizado que el diferencial se encuentra protegido, e incluso con algunos modelos compactos, se puede ahorrar espacio en el cuadro.
- Relé diferencial programable. Es un relé diferencial con opciones de configuración y reglaje más sofisticadas.

Figura 2.69. *Interruptor diferencial rearmable. (Cortesía de Gewiss.)*

Figura 2.70. *Relé diferencial programable. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 2.71. *Bloque Vigi. (Cortesía de Schneider Electric.)*

SABÍAS QUE

Si una instalación eléctrica se protege mediante interruptores diferenciales de baja sensibilidad, es necesario que el valor de la resistencia de puesta a tierra tenga unos valores mínimos, para garantizar la integridad de las personas.

2.3.8. El descargador de sobretensiones

El descargador de sobretensiones, también conocido como limitador de sobretensiones, es un dispositivo de protección de las instalaciones eléctricas frente a los aumentos repentinos del nivel de voltaje.

Su interior está formado por un material capaz de derivar a tierra las sobretensiones, evitando que penetren en la instalación y dañen a los equipos y materiales eléctricos.

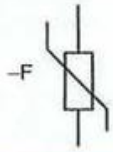


Figura 2.72. *Símbolo genérico asociado al descargador de sobretensiones.*

El uso del descargador de sobretensiones no resulta siempre obligatorio, pero es especialmente recomendable en aquellas regiones donde el número de rayos que se contabilizan cada año es muy elevado. No obstante, el Reglamento de Baja Tensión establece, entre otros supuestos, que será obligatorio el uso de dispositivos limitadores de las sobretensiones en:

- Instalaciones en edificios que cuenten con sistemas pararrayos.
- Instalaciones en las que se puedan ver afectadas actividades agrícolas o industriales no interrumpibles.
- Instalaciones en las que exista riesgo de fallo afectando a la vida humana.

SABÍAS QUE

El mapa en el que se representan geográficamente las zonas de mayor o menor riesgo de actividad de rayos se denomina *isoceráunico*.

Características de los descargadores de sobretensiones

Las características de los descargadores de sobretensiones quedan definidas por los siguientes parámetros:

- **Tensión nominal o de disparo:** es la tensión a partir de la cual el descargador entra en funcionamiento. Se expresa en voltios (V) o kilovoltios (kV).
- **Número de descargas (vida útil):** es el número de descargas a tierra que es capaz de realizar. Cuando se supera este valor deja de funcionar.

Los descargadores de sobretensiones llevan incorporado un indicador (generalmente luminoso) que marca el fin de su vida útil. De este modo, el usuario sabe cuándo debe sustituir el cartucho por otro nuevo.

Figura 2.73. *Descargador de sobretensiones de tres y cuatro polos. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 2.74. *Cartucho interno de un descargador de sobretensiones con indicador de vida útil. (Cortesía de Siemens.)*

Clasificación de los limitadores de sobretensiones

La normativa actual diferencia entre cinco tipos de limitadores de sobretensiones distintos, dependiendo de sus aplicaciones y características:

- Protectores de sobretensiones de instalaciones eléctricas:
  - Tipo 1: nivel de protección alto.
  - Tipo 2: nivel de protección medio.
  - Tipo 3: nivel de protección bajo.
- Protectores de sobretensiones tipo pararrayos.
- Protectores de sobretensiones para redes de telecomunicación.

Instalación del limitador de sobretensiones

Los descargadores de sobretensiones asociados a las instalaciones interiores industriales pueden ser de tipo 1, 2 y 3:

- Los descargadores de **tipo 1** deberán ser instalados a la entrada de la instalación, ya que su nivel de protección así lo exige.
- Los descargadores de **tipo 2** deben instalarse siempre aguas abajo de los protectores de tipo 1, en todas las instalaciones con protección externa, en el cuadro general de baja tensión. Su instalación en la cabecera de la instalación será suficiente cuando no exista protección externa.
- Los descargadores de **tipo 3** siempre deben ir precedidos por descargadores de tipo 2. Deben instalarse para la protección específica de equipos sensibles, o en equipos que estén a una distancia superior a 20 metros de la ubicación del protector de tipo 2.

Figura 2.75. *Ejemplo de una instalación con tres tipos de descargadores de sobretensiones.*

Los descargadores de sobretensiones de tipo 1 y 2, puesto que irán siempre instalados en cuadros eléctricos, deben cumplir unos requisitos de instalación más específicos:

- Se debe instalar el dispositivo de protección recomendado por el fabricante, aguas arriba del limitador, con objeto de mantener la continuidad de todo el sistema evitando el disparo del interruptor general automático del cuadro (IGA).
- Para evitar disparos intempestivos de los interruptores diferenciales, el descargador debe instalarse siempre aguas arriba del interruptor diferencial (entre el interruptor general y el propio interruptor diferencial). Esto no es aplicable si se utilizan interruptores diferenciales superinmunizados o selectivos.
- La distancia entre el bornero de tierra del limitador y el borne aguas arriba del interruptor automático de desconexión debe ser la menor posible, y nunca superior a 0,5 metros.
- Si se utiliza más de un limitador por instalación, la distancia entre ellos debe ser mayor de 10 m.
- Las tomas de tierra de los receptores deben conectarse al mismo bornero de tierra que el limitador de sobretensiones.

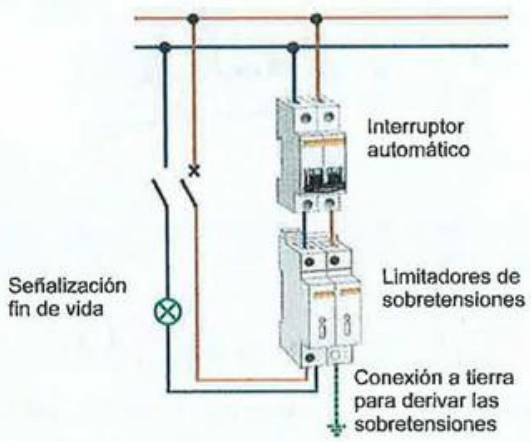


Figura 2.76. *Ejemplo de conexionado de un descargador de sobretensiones tipo 1 o 2.*

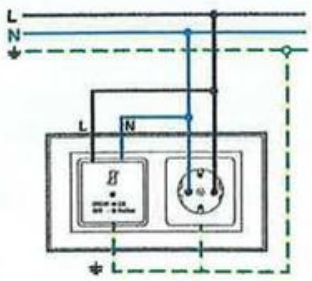


Figura 2.77. *Ejemplo de conexionado de un descargador de sobretensiones tipo 3.*

Respecto a la elección del interruptor automático de desconexión más adecuado para un limitador de sobretensiones, depende en gran medida del fabricante, pero de manera genérica se pueden establecer las siguientes prescripciones:

- Para limitadores de 8, 15 y 40 kA el interruptor magnetotérmico será de curva C con una intensidad nominal de 20 A.
- Para limitadores de 65 kA el interruptor magnetotérmico será de curva C con una intensidad nominal de 50 A.
- El interruptor magnetotérmico debe ser de corte omnipolar.
- El poder de corte del interruptor magnetotérmico se escogerá en función de la intensidad de cortocircuito máxima de la instalación, sin tener en cuenta la influencia del limitador de sobretensiones.

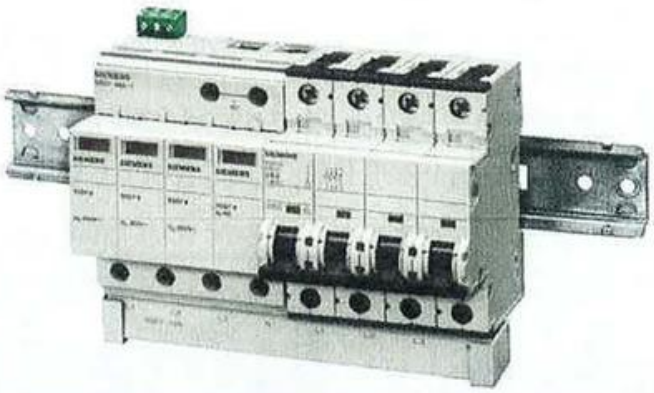


Figura 2.78. *Detalle de un descargador de sobretensiones e interruptor automático asociado. (Cortesía de Siemens.)*

2.3.9. El concepto de selectividad

La selectividad es la **coordinación de los dispositivos de protección** por corte de la alimentación, para que un determinado defecto eléctrico sea eliminado por la protección ubicada inmediatamente aguas arriba del mismo, de manera que el resto de los circuitos de la instalación no se vean afectados. Si la condición anterior no se respeta, se dice entonces que la selectividad es parcial, o incluso nula.

Observando la Figura 2.79, resulta posible entender perfectamente este concepto. Si se produce un defecto en el circuito de alimentación de la *carga 2*, el *dispositivo 3* debe activarse e interrumpir dicho circuito; sin embargo, tanto el *dispositivo 2*, como el *dispositivo 1* no deben actuar ante el defecto, de manera que la *carga 1* pueda seguir funcionando con normalidad. En este caso particular, los *dispositivos 2 y 3* deberán guardar selectividad con respecto al *dispositivo 1*.

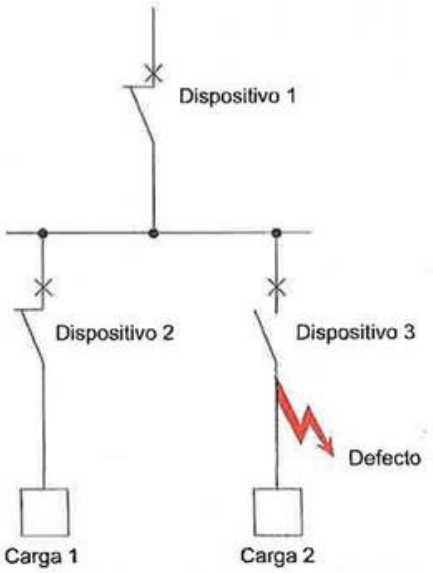


Figura 2.79. *Principio de selectividad.*

Deben mantener la selectividad todos los dispositivos de protección de las instalaciones eléctricas destinados a proteger la instalación frente a sobreintensidades (selectividad magnetotérmica), así como los destinados a proteger a las personas frente a corrientes diferenciales (selectividad diferencial).

Las **técnicas de selectividad más utilizadas en interruptores diferenciales** están basadas en la utilización de tres parámetros de funcionamiento de estos dispositivos:

- Escalonando el valor de la **sensibilidad**, incrementando el amperaje de los dispositivos de protección a medida que su ubicación se acerca a la fuente de alimentación.
- Escalonando el **tiempo de disparo**, incrementando el tiempo que el dispositivo tarda en entrar en funcionamiento a medida que su ubicación se acerca a la fuente de alimentación (solo aplicable en dispositivos diferenciales que permitan seleccionar el tiempo de disparo).
- Utilizando interruptores diferenciales **superinmunizados** aguas arriba de otros con la misma sensibilidad.

Las **técnicas de selectividad más utilizadas en interruptores automáticos** están basadas en la utilización de dos parámetros de funcionamiento de estos dispositivos:

- Escalonando el valor de la **corriente de disparo**, incrementando el amperaje de los dispositivos de protección a medida que su ubicación se acerca a la fuente de alimentación.
- Escalonando el **tiempo de disparo**, incrementando el tiempo que el dispositivo tarda en entrar en funcio-

namiento a medida que su ubicación se acerca a la fuente de alimentación (solo aplicable en interruptores automáticos industriales que permitan trabajar sobre la curva de disparo).

La selectividad de un circuito eléctrico puede ser **total o absoluta**, si un defecto en cualquier punto de la instalación es eliminado por el dispositivo de protección situado inmediatamente aguas arriba del defecto sin que se vean afectados los demás dispositivos de protección; o **parcial**, en el caso de interruptores automáticos, si la máxima corriente de cortocircuito posible es superior al ajuste de la corriente de disparo por cortocircuito del interruptor automático situado inmediatamente aguas arriba del defecto, de manera que para esa condición disparará también un segundo interruptor automático.

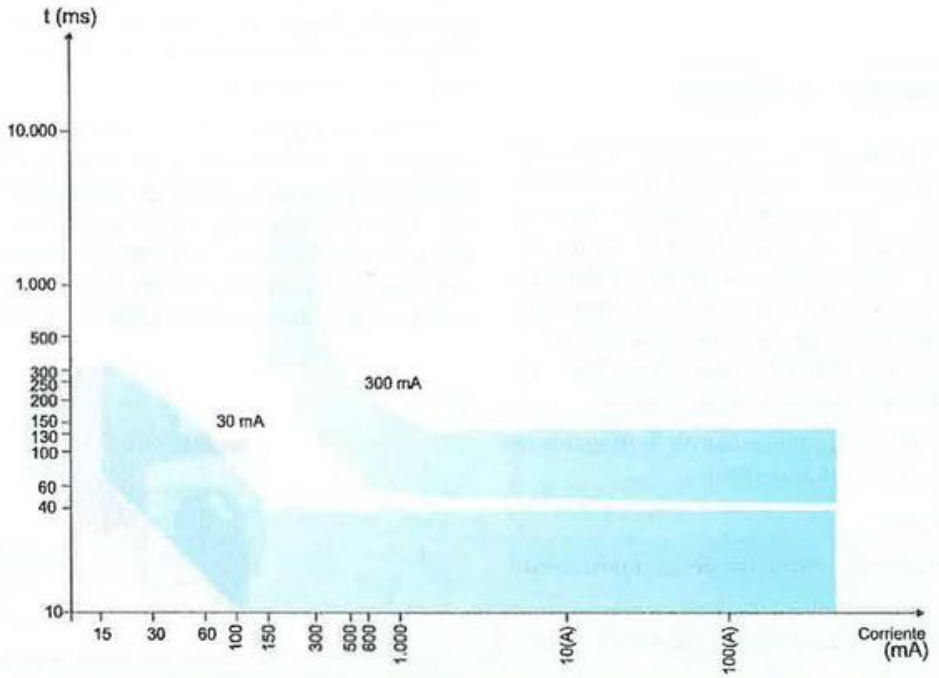


Figura 2.80. *Ejemplo de selectividad en interruptores diferenciales domésticos de 30 mA y 300 mA. (El diferencial de 300 mA estará situado aguas arriba del diferencial de 30 mA.)*

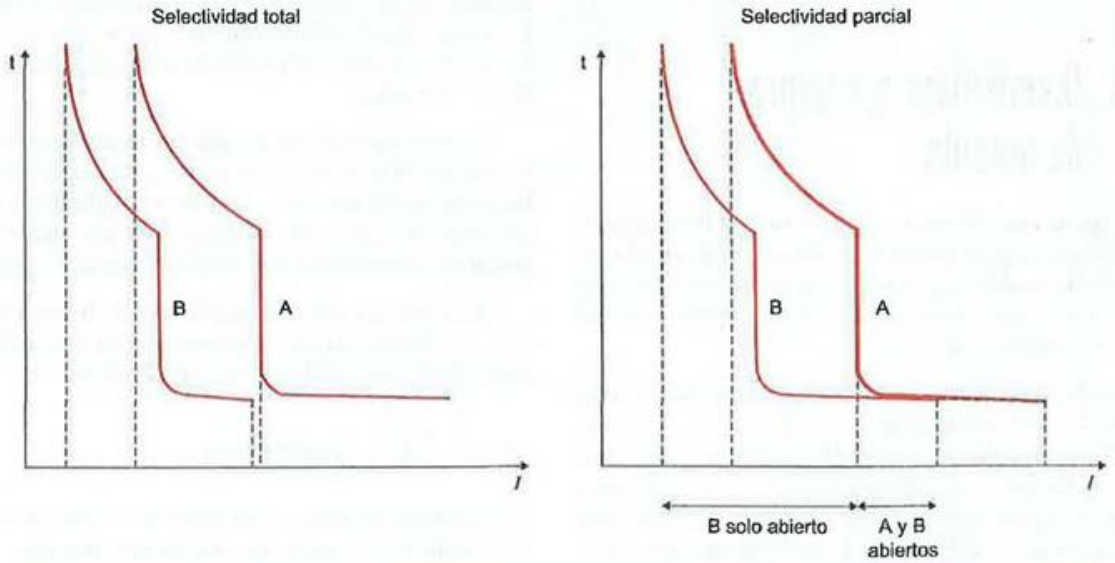


Figura 2.81. *Ejemplo de selectividad total y parcial para dos interruptores automáticos, en función de sus curvas de disparo (dispositivo A situado aguas arriba de B).*

Actividad propuesta 2.6

¿Qué consecuencias puede tener en una instalación eléctrica industrial el hecho de que no se respete la selectividad entre dispositivos de protección?

Enumera las posibles ventajas que crees que pueden derivarse de tener una correcta selectividad en una instalación eléctrica.

2.3.10. El concepto de filiación

Se denomina filiación a la disposición o coordinación de interruptores automáticos en un circuito eléctrico de tal manera que, mediante la limitación del valor máximo de **corriente de cortocircuito** que pasa a través de un determinado interruptor automático, será posible utilizar en todos los circuitos situados **aguas abajo de su ubicación** aparamenta con capacidades de corte de cortocircuito y capacidades de resistencia térmica y electromagnética de valores inferiores a los que deberían ser necesarios.

Las ventajas que ofrece la aplicación de la filiación en las instalaciones eléctricas son numerosas:

- Ahorro económico.
- Mayor posibilidad de elección de la aparamenta aguas abajo.
- Uso de aparamenta y dispositivos de menor rendimiento.
- Disminución de los requisitos de espacio físico en los cuadros y armarios eléctricos.
- Cálculos simplificados de la corriente de cortocircuito.

2.4. Dispositivos y equipos de medida

En toda instalación eléctrica es necesario controlar y gestionar los distintos parámetros característicos de los circuitos, a través de mediciones o registros de los mismos. Los dispositivos y equipos de medida son componentes que se encargan de esta función.

Se trata de equipos muy sensibles y sofisticados, y una mala conexión o la interpretación errónea de las lecturas que ofrecen pueden dar lugar a problemas inesperados. Por este motivo, durante su estudio y posterior montaje hay que tener muy en cuenta factores como: la forma de conexión, los valores máximos de la escala de medida, las características de funcionamiento nominales, la posición de trabajo, el rango de trabajo, etc.

Símbolo genérico de un equipo de medida	–P ◯

Los instrumentos y dispositivos de medida pueden ser de tipo **digital** o **analógico**.

Los dispositivos digitales se caracterizan porque muestran el valor numérico de la magnitud a medir a través de un *display* frontal, con punto decimal, polaridad y unidad. Esto facilita enormemente la lectura por parte de los usuarios de las instalaciones.

En los dispositivos analógicos se realiza la lectura mediante la posición de una aguja sobre una escala de medida. Existen equipos analógicos que pueden realizar varias medidas, por ejemplo las tres intensidades de fase de un circuito trifásico, pero dado que únicamente pueden mostrar una sola magnitud en la pantalla, suelen estar acompañados de un selector rotativo que permite escoger lo que se desea visualizar.

Figura 2.82. *Selector rotativo para dispositivos de medida de tensión analógicos. (Cortesía de Siemens.)*

Cabe destacar que los dispositivos y equipos de medida pueden ser **fijos o portátiles**. Se entiende que los equipos portátiles son los asociados a los instaladores eléctricos, de los cuales hacen uso durante las tareas de montaje y mantenimiento. Dichos dispositivos serán analizados en la Unidad 12 del libro.

En este apartado se estudiarán únicamente los equipos de medida que son considerados como **aparamenta eléctrica**, es decir, aquellos que forman parte de la instalación eléctrica al haber sido instalados de una manera fija para medir o monitorizar las variables asociadas a los circuitos.

Para realizar este cometido, estos dispositivos podrán estar diseñados para ser montados sobre carril DIN o sobre la puerta de los cuadros y armarios eléctricos.

2.4.1. El voltímetro

El voltímetro se utiliza para conocer la tensión o diferencia de potencial (V) entre dos puntos del circuito. La medida puede realizarse directamente sobre dos conductores activos o entre los terminales de un receptor.

	Símbolo
Voltímetro	–P (V)

Los voltímetros utilizados en las instalaciones de automatismos industriales suelen estar provistos para medir cada una de las tres tensiones de fase y cada una de las tres tensiones de línea.

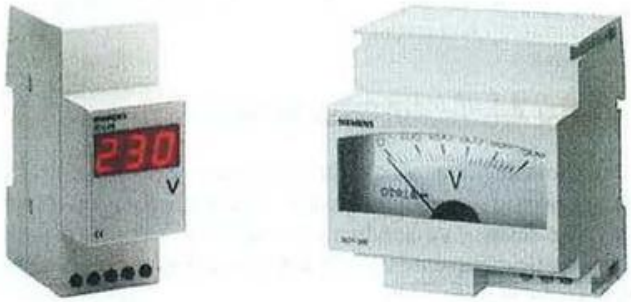


Figura 2.83. *Voltímetros para carril DIN. (Cortesía de Siemens.)*

La **conexión** del voltímetro se realiza en **paralelo**, y la medición del voltaje puede realizarse con el circuito conectado o desconectado.

2.4.2. El amperímetro

El amperímetro es un dispositivo que indica la intensidad de corriente eléctrica (A) que circula por una línea o por un conductor determinado.

	Símbolo
Amperímetro	–P (A)

Figura 2.84. *Amperímetro para carril DIN. (Cortesía de Siemens.)*

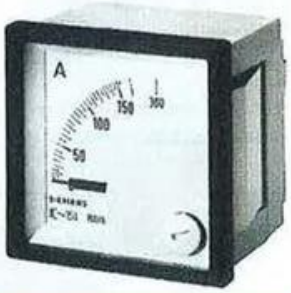


Figura 2.85. *Amperímetro para montaje superficial en la puerta de un cuadro eléctrico. (Cortesía de Siemens.)*

La **conexión** del amperímetro se realiza siempre en **serie**, y la medición de la intensidad debe realizarse siempre con el circuito conectado.

2.4.3. El óhmetro

El óhmetro, u ohmímetro, es un dispositivo de medida utilizado para medir la resistencia o impedancia (Ω), generalmente de los conductores eléctricos o de los bobinados de algunos equipos. También sirve para comprobar la continuidad, ya que si no hay continuidad el óhmetro es incapaz de medir y ofrece el valor 0 Ω, error o infinito.

	Símbolo
Óhmetro	–P (Ω)

La **conexión** del óhmetro se realiza siempre en **paralelo**, y la medición de la resistencia debe realizarse siempre con el circuito desconectado.

No resulta muy común encontrar este equipo como parte de la aparamenta asociada a los automatismos industriales, siendo su uso más común por parte de los instaladores y mantenedores eléctricos.

2.4.4. El vatímetro

El vatímetro realiza una medición de la potencia eléctrica (W) que está demandando en un momento determinado las líneas del circuito sobre las que ha sido instalado.

	Símbolo
Vatímetro	–P (W)

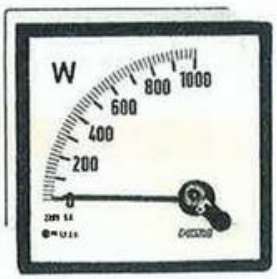


Figura 2.86. *Vatímetro para montaje superficial en la puerta de un cuadro eléctrico. (Cortesía de Circutor.)*

La **conexión** del vatímetro se realiza en **serie-paralelo**, puesto que este dispositivo tiene cuatro bornes de cone-

xión: dos corresponden con la medida de intensidad (se conectan en serie) y las otras dos corresponden con la medida de tensión (se conectan en paralelo).

La medición de la potencia debe realizarse siempre con el circuito conectado.

2.4.5. El frecuencímetro

El frecuencímetro es un dispositivo de medición de la frecuencia (Hz) de la red a la que ha sido conectado.

	Símbolo
Frecuencímetro	–P Hz

Figura 2.87. *Frecuencímetro para montaje en carril DIN. (Cortesía de Circutor.)*

La **conexión** del frecuencímetro se realiza en **paralelo**, y la medición de la frecuencia debe realizarse siempre con el circuito conectado. Su uso únicamente se establece en circuitos eléctricos de corriente alterna o en sistemas trifásicos.

2.4.6. El fasímetro

El fasímetro es un equipo de medida que ofrece el valor del factor de potencia (cos φ) de la instalación eléctrica.

	Símbolo
Fasímetro	–P φ

La **conexión** del fasímetro se realiza en **paralelo**, y la medición del factor de potencia debe realizarse siempre con el circuito conectado. Al igual que el frecuencímetro, su uso únicamente se establece en circuitos eléctricos de corriente alterna o en sistemas trifásicos.

2.4.7. El sincronoscopio

El sincronoscopio, o relé de sincronismo, es un dispositivo de medida que se utiliza en las instalaciones que cuentan con dos generadores eléctricos, o un generador y la red eléctrica externa, conectados en paralelo para aplicaciones de emergencia o de apoyo cuando se requiere un aporte de potencia muy elevado.

Su función es indicar la diferencia de frecuencia y ángulo de fase entre las dos entradas de suministro, con el objetivo de controlar y verificar que se encuentran permanentemente en sincronismo.

2.4.8. Analizadores de redes

En las instalaciones eléctricas modernas, gran parte de los dispositivos de medición citados anteriormente se encuentran en desuso, ya que han sido sustituidos por otro equipo más sofisticado que cumple la función de todos ellos de manera integrada.

Este dispositivo, conocido como analizador de redes o central de medida, permite la comprobación de numerosos parámetros de una instalación eléctrica en funcionamiento, tales como:

- Tensiones de fase.
- Tensiones de línea.
- Intensidad de cada línea.
- Energía consumida.
- Factor de potencia (cos φ).
- Frecuencia.

Figura 2.88. *Analizadores de red para montaje superficial en la puerta de un cuadro eléctrico. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 2.89. *Analizador de red para carril DIN. (Cortesía de Siemens.)*

2.4.9. Contadores de energía

Los contadores de energía miden la demanda de **energía eléctrica** de la instalación en la que han sido ubicados. Esta energía puede ser activa (kWh) o reactiva (kVAr).

En las instalaciones eléctricas industriales es común utilizar estos dispositivos para contabilizar la energía de circuitos concretos de manera individualizada, ya que la medición de la energía total consumida por la instalación suele realizarse en la parte de alta tensión del centro de transformación, puesto que la tarifa aplicable en estos casos es más económica.

	Símbolo
Contador de energía activa	–P (kWh)
Contador de energía reactiva	–P (kVAr)

Los contadores pueden ser de dos tipos:

- **Contadores electromecánicos:** también conocidos como *contadores de disco,* han sido los más utilizados hasta hace unos años. Utilizan bobinas de tensión y corriente para mover un disco que a su vez mueve un panel numérico analógico donde queda reflejado el consumo de la instalación.

Figura 2.90. *Contador electromecánico de energía activa para carril DIN. (Cortesía de Siemens.)*

- **Contadores electrónicos:** los contadores electrónicos son equipos de medición más modernos que han sustituido a los antiguos contadores analógicos de disco. Utilizan convertidores que a través de impulsos eléctricos contabilizan la energía consumida, mostrándola en un *display* digital.

Figura 2.91. *Contadores electrónicos modulares para carril DIN. (Cortesía de ABB.)*

La conexión de un contador de energía eléctrica depende del modelo, y suele venir reflejada en su placa de características.

2.4.10. Transformadores de medida

Los transformadores de medida son dispositivos utilizados para realizar **medidas indirectas** en circuitos e instalaciones de alta potencia, donde las tensiones o las intensidades presentes son tan elevadas que requerirían el uso de equipos de medida muy grandes y costosos. Disponen de un circuito primario que realiza la medida sobre el circuito real y de un circuito secundario que se conecta al componente que realiza la lectura.

Los transformadores de medida aíslan los circuitos de potencia de los dispositivos de medida, permitiendo una mayor normalización en la construcción de estos equipos. Suelen disponer de un selector *multiratio* para obtener diferentes relaciones de transformación.

Existen dos tipos de transformadores de medida: de tensión y de intensidad.

- Los transformadores de **tensión** convierten un valor de voltaje de entrada muy elevado en un valor de salida reducido. Su uso está asociado a las instalaciones de alta tensión, siendo muy poco frecuente su utilización en instalaciones de baja tensión.

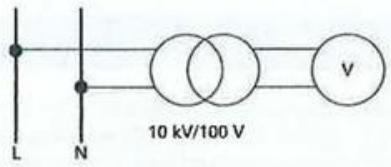


Figura 2.92. *Representación de un transformador de tensión.*

- Los transformadores de **intensidad**, o transformadores de corriente, convierten un valor de intensidad de entrada muy elevado en un valor de salida reducido. Su uso en instalaciones industriales es muy frecuente, ya que tienen la capacidad de leer intensidades de hasta 10 kA ofreciendo corrientes secundarias de entre 1 y 5 A.

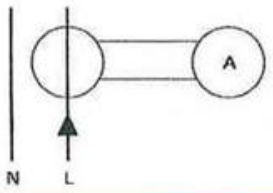


Figura 2.93. *Representación de un transformador de intensidad.*

Los transformadores de intensidad pueden ser de tipo **toroidal** o de **ventana rectangular**. En su instalación y mantenimiento hay que tener especial cuidado, dado que si se conecta el dispositivo con el circuito secundario en vacío puede resultar dañado e incluso quemarse internamente. En caso de duda siempre es recomendable cortocircuitar la salida del secundario para evitar este tipo de problemas.

Figura 2.94. *Transformador de intensidad de tipo toroidal y relación de transformación 100/5 A.*

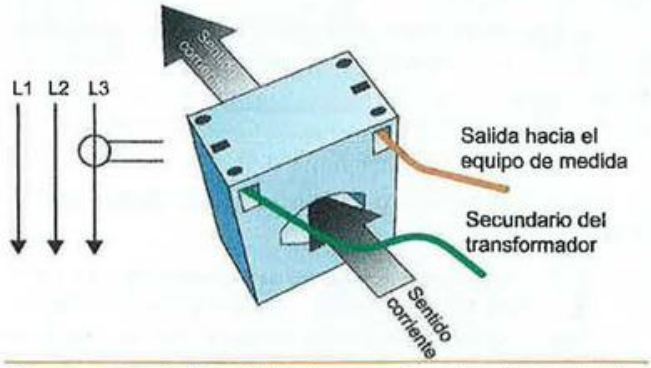


Figura 2.95. *Ejemplo de instalación de un transformador de intensidad de ventana rectangular para una fase.*

RECUERDA

Los transformadores de intensidad también pueden estar asociados a la aparamenta de protección para realizar medidas indirectas, como por ejemplo en los interruptores diferenciales y los relés térmicos.

Actividad propuesta 2.7

El fondo de escala de un instrumento de medida es el valor máximo que puede llegar a medir. Es importante utilizar dispositivos con un fondo de escala superior a la magnitud a medir, puesto que de lo contrario la medición no será fiable e incluso podríamos dañar el aparato.

Observa el dispositivo de medida de la figura y responde a las siguientes cuestiones:

a) ¿De qué tipo de equipo de medición se trata?

b) ¿Para qué se utiliza?

c) Expresa el valor de su fondo de escala en miliamperios.

d) ¿Se podría utilizar este dispositivo para realizar medidas en circuitos de intensidad nominal superiores a 10 A?

2.5. Receptores y actuadores

Como en todo circuito eléctrico, los receptores y los actuadores son los dispositivos, los aparatos o las máquinas encargados de recibir la corriente y convertir la energía eléctrica en otro tipo de energía útil.

Los receptores y actuadores eléctricos de uso más frecuente en las instalaciones de automatismos industriales son los siguientes:

Receptores lumínicos: son los dispositivos en los que se transforma la energía eléctrica en energía luminosa. Son muy comunes en los circuitos de maniobra para indicar el estado de los procesos industriales.

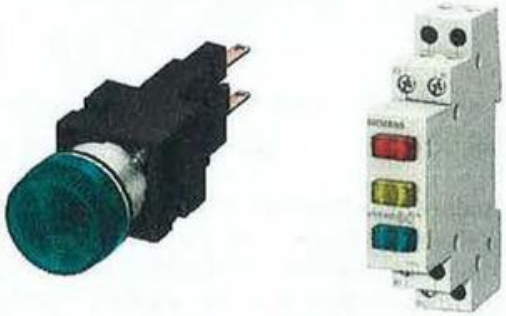


Figura 2.96. *Pilotos de señalización. (Cortesía de Siemens.)*

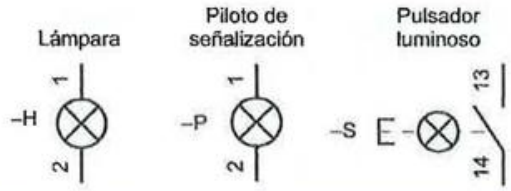


Figura 2.97. *Simbología asociada a los receptores lumínicos.*

Receptores térmicos: son los dispositivos en los que se transforma la energía eléctrica en calor (efecto Joule). Este calor puede ser aprovechado (como en un calefactor eléctrico o en un horno industrial) o disipado sin uso (bloque de resistencias de arranque o resistencia de frenado en un motor).

Receptores electroquímicos: son los dispositivos que transforman la energía eléctrica en energía química, como en el caso de las células electrónicas.

Receptores capacitivos: son los dispositivos en los que se transforma la energía eléctrica en energía reactiva para crear campos eléctricos. En las instalaciones industriales es muy frecuente el uso de baterías de condensadores para compensar el factor de potencia.

Receptores mecánicos: son los dispositivos en los que se transforma la energía eléctrica en energía mecánica (movimiento giratorio o lineal). La mayoría de estos receptores basan su funcionamiento en bobinas, inductancias o electroimanes en los que la energía eléctrica es convertida en energía reactiva para crear campos magnéticos, a partir de los cuales se genera el movimiento mecánico en las partes móviles. Los receptores mecánicos son los más utilizados en las instalaciones industriales ya que se encuentran presentes en todos los procesos en mayor o menor medida. Algunos ejemplos de receptores y actuadores asociados a las instalaciones de automatismos industriales son los siguientes:

- Motores de corriente continua.
- Motores de monofásicos y trifásicos.
- Bombas y compresores.
- Actuadores electrohidráulicos y electroneumáticos.
- Electroválvulas.
- Zumbadores, timbres y sirenas.
- Robots articulados y robots de carga.
- Células robotizadas y paletizadores.

RECUERDA

Se considera como aparamenta eléctrica a cualquier elemento de un circuito que cumpla alguna de las siguientes funciones: seccionamiento, conexión, protección o control y medida. Los receptores eléctricos, por tanto, no pueden ser considerados como aparamenta.

Figura 2.98. *Robots articulados y cinta transportadora de un proceso industrial. Ambos elementos basan su funcionamiento en motores.*

Figura 2.99. *Electroválvulas.*

Figura 2.100. *Electroválvula neumática.*

Figura 2.101. *Motores industriales.*

Actividades de comprobación

2.1. ¿Cuál de las siguientes secciones de conductores no está normalizada?

a) 1,5 mm².
b) 3 mm².
c) 6 mm².

2.2. Un conductor compuesto por una gran cantidad de alambres muy finos se dice que es:

a) Multiconductor.
b) Flexible.
c) Rígido.

2.3. Cuanto mayor sea la potencia de un receptor eléctrico:

a) Mayor será la intensidad, y por tanto, la sección del conductor será más pequeña.
b) Menor será la intensidad, y por tanto, la sección del conductor será más grande.
c) Ninguna de las dos opciones es correcta.

2.4. Un conductor desnudo puede utilizarse:

a) Siempre.
b) Nunca.
c) Solo si existe una distancia de seguridad o si está conectado a tierra.

2.5. ¿Cómo se deben conectar las bases de toma de corriente en una instalación eléctrica convencional?

a) Serie.
b) Paralelo.
c) Mixto.

2.6. ¿Cuál de los siguientes elementos de maniobra vuelve a su posición original cuando se deja de actuar sobre sus contactos?

a) Interruptor.
b) Regulador.
c) Pulsador.

2.7. Un exceso de cargas eléctricas conectadas en un circuito eléctrico puede producir:

a) Cortocircuitos.
b) Sobrecargas.
c) Sobretensiones.

2.8. ¿Qué es el calibre de un fusible?

a) El diámetro del fusible.
b) El nivel de tensión máximo que soporta el fusible.
c) El valor de intensidad límite que es capaz de soportar sin fundirse.

2.9. Las posibles consecuencias de las sobretensiones y sobreintensidades en las instalaciones eléctricas son:

a) Calentamiento excesivo de los materiales.
b) Interrupción del suministro eléctrico.
c) Ambas opciones son correctas.

2.10. Si tenemos un interruptor automático de 2x16A, podemos afirmar:

a) Que es un interruptor automático tripolar de 16 A de intensidad nominal.
b) Que es un interruptor automático bipolar de 16 A de intensidad nominal.
c) Que es un interruptor automático bipolar de 16 A de poder de corte.

2.11. ¿Cuál de los siguientes interruptores diferenciales se puede considerar como *de alta sensibilidad*?

a) Interruptor diferencial 2x40A/300 mA.
b) Interruptor diferencial 4x63A/0,03 A.
c) Interruptor diferencial 2x25A/0,5 A.

2.12. Un interruptor automático magnetotérmico protege frente a:

a) Sobrecargas y cortocircuitos.
b) Sobretensiones y cortocircuitos.
c) Sobrecargas y sobretensiones.

2.13. Un interruptor diferencial tiene la función de proteger:

a) Frente a sobrecargas.
b) Frente a contactos indirectos.
c) Frente a sobretensiones.

2.14. ¿Cuál de los siguientes términos no hace referencia a un tipo de fusible?

a) DPN.
b) Cuchilla.
c) Rosca.

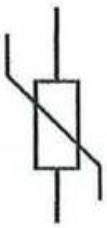
ACTIVIDADES FINALES

2.15. El símbolo de la figura representa:

a) Un descargador de sobretensiones.

b) Un bloque Vigi.

c) Un relé térmico.



2.16. ¿Qué instrumento podemos utilizar para medir la potencia eléctrica en un circuito?

a) Un contador de energía.

b) Un vatímetro.

c) Un fasímetro.

2.17. El equipo de medida que permite la comprobación de numerosos parámetros de una instalación eléctrica se denomina:

a) Sincroscopio.

b) Transformador de intensidad.

c) Analizador de redes.

Actividades de aplicación

2.1. Indica las características que definen al conductor representado en la imagen, dada su designación normalizada:

2.2. Explica la característica fundamental de funcionamiento que define la diferencia entre los interruptores y los pulsadores.

2.3. Explica la característica fundamental de funcionamiento que define la diferencia entre los interruptores y los contactores.

2.4. ¿Qué función cumple la bobina interna (electroimán) de un contactor?

2.5. ¿Qué tipo o categoría de contactor utilizarías para maniobrar sobre una carga de tipo resistivo? ¿Y para maniobrar sobre los motores que mueven cintas transportadoras en una instalación industrial?

2.6. ¿Qué tipo de fusible es un gG? ¿Cuáles son sus principales características y aplicaciones? Enumera los tipos de fusibles, en función de su clase, más utilizados en las instalaciones de automatismos industriales.

2.7. Explica brevemente por qué se dice que las sobrecargas son sobreintensidades de tipo térmico y los cortocircultos son sobreintensidades de tipo magnético.

2.8. Define los siguientes conceptos:

a) Tensión nominal.

b) Arco eléctrico.

c) Corte omnipolar.

d) Poder de aislamiento.

e) Poder de corte.

2.9. ¿En qué punto de una instalación eléctrica crees que puede ser mayor la intensidad de cortocircuito resultante de un defecto? Justifica tu respuesta relacionándola con el concepto de filiación.

2.10. Explica brevemente el principio de funcionamiento de un relé térmico. ¿Cómo se produce la desconexión del circuito de potencia cuando se produce una sobrecarga?

2.11. Justifica si los siguientes defectos pueden considerarse contactos directos o indirectos:

a) Tocar una toma de corriente con la mano.

b) Que un cable suelto dentro de la lavadora entre en contacto con la carcasa metálica.

2.12. ¿En qué se diferencia un interruptor automático tetrapolar de tres polos + neutro de otro tetrapolar de cuatro polos?

2.13. ¿En qué se diferencian fundamentalmente las curvas de disparo de los interruptores automáticos? Razona la respuesta utilizando como ejemplo dos curvas a tu elección.

2.14. Explica qué es la selectividad de un interruptor diferencial. Cita los valores de sensibilidad que pueden tener los interruptores diferenciales domésticos.

2.15. Indica brevemente el método de instalación de un descargador de sobretensiones tipo 1.

2.16. Si deseamos realizar una medición de corriente en un circuito eléctrico, sabiendo que el valor estará comprendido entre 10 y 20 amperios, ¿qué tipo de amperímetro debemos utilizar?

2.17. Indica cómo debe realizarse la conexión de los siguientes equipos eléctricos de medición:

a) Voltímetro.

b) Amperímetro.

c) Óhmetro.

d) Vatímetro.

2.18. ¿Qué es un transformador de medida? ¿Para qué se utiliza? ¿A qué magnitudes eléctricas están asociadas? ¿Qué otro tipo de transformadores conoces?

Casos prácticos

2.1. A continuación se muestra el diagrama característico intensidad/tiempo, proporcionado por el fabricante, de varios fusibles tipo DIAZED de distinto calibre.

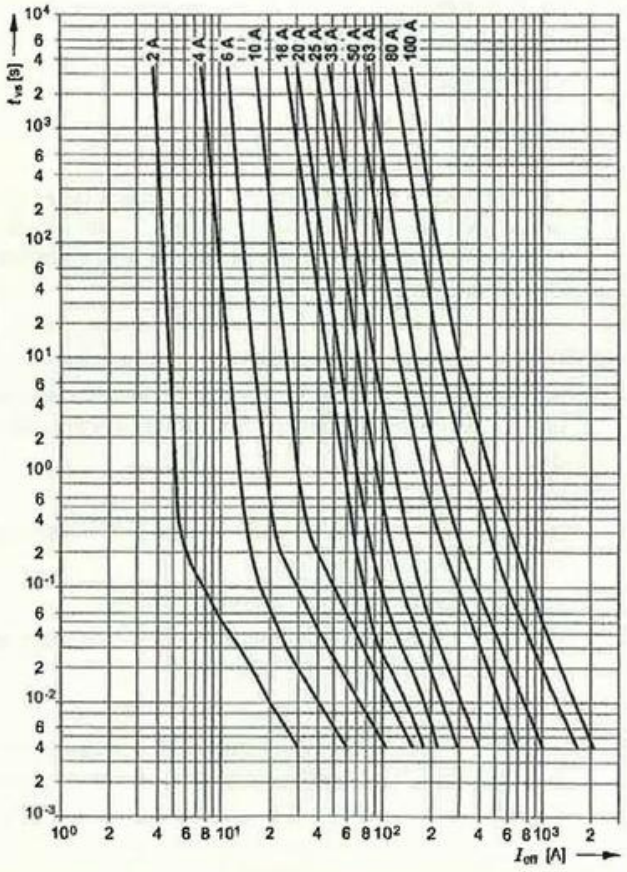


Figura 2.102. *Curvas intensidad/tiempo correspondientes a diversos fusibles.*

Analiza el gráfico y responde a las siguientes cuestiones:

a) Establece la intensidad que haría actuar a cada uno de los fusibles tras un defecto de 2 minutos de duración.

b) Establece los fusibles que responden ante sobreintensidades de 60 A.

c) ¿Qué fusibles podríamos utilizar en un circuito en el que la instensidad de defecto estimada sea 1.000 A? ¿Cuánto tiempo tardarían en actuar los fusibles seleccionados ante esa intensidad?

d) ¿Qué intensidad debe circular por un circuito para que el fusible de 100 A actúe en 1 segudo?

e) ¿Qué fusibles podrían ser utilizados para proteger un circuito eléctrico de 30 A de intensidad nominal? ¿Qué fusible sería más recomendable utilizar?

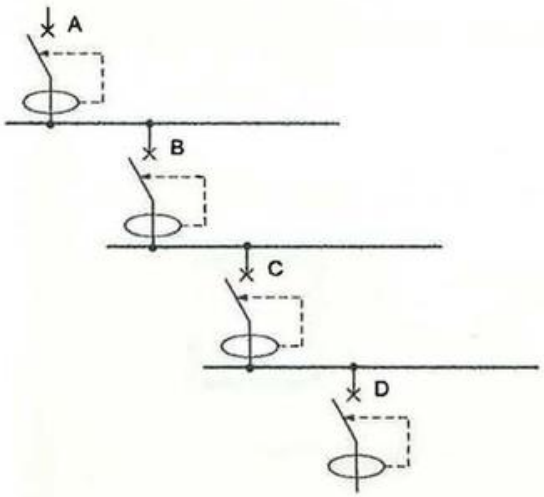
f) Identifica el fusible que actúa en 0,1 segundos ante una sobreintensidad de 40 A.

g) ¿Qué fusibles actuarían adecuadamente ante una sobrecarga de 20 A?

h) ¿Qué fusibles actuarían adecuadamente ante una sobrecarga de 2 A?

i) Si la intensidad nominal de un circuito es de 90 A, ¿podría utilizarse el fusible de 80 A para proteger dicho circuito? Justifica la respuesta desde un punto de vista técnico y desde un punto de vista gráfico.

2.2. Dado el siguiente diagrama, en el que se muestran varios interruptores diferenciales (mediante la simbología simplificada) de una instalación eléctrica, y suponiendo que el dispositivo A se encuentra ubicado en el cuadro general de baja tensión y el resto se van ubicando aguas abajo:



a) Define el concepto de selectividad y relaciónalo con el diagrama mostrado.

b) De entre los siguientes modelos de interruptores diferenciales, selecciona cuál debería corresponderse con cada uno de los mostrados en el diagrama, para mantener la selectividad diferencial en la instalación:

- Interruptor diferencial doméstico de 300 mA.
- Relé diferencial con el reglaje en 300 mA temporizado a 250 ms.
- Interruptor diferencial doméstico de 30 mA.
- Interruptor diferencial superinmunizado de 30 mA.

2.3. Al moverse los electrones producen calor, de modo que si la intensidad de corriente que circula por un cable es muy elevada, puede suceder que ese calor rompa el cable. Como ya sabes, la intensidad que puede soportar un cable sin quemarse se denomina intensidad máxima admisible.

Es muy importante conocer la intensidad de corriente que va a circular por un circuito y seleccionar un conductor cuya sección se ajuste a esa intensidad.

Entra en la página web de la editorial (www.paraninfo.es) y localiza la tabla en la que se muestran las intensidades máximas admisibles de los conductores, dependiendo, entre otros factores, de su sección.

¡Ya puedes empezar a trabajar con los conductores más utilizados en baja tensión! Conociendo la intensidad máxima que pueden soportar podrás dimensionar instalaciones y seleccionar los dispositivos de protección más adecuados

2.4. Dada la Figura 2.103, que representa a varios dispositivos y protecciones eléctricas en un cuadro general, resuelve las siguientes cuestiones:

1. Identifica en la figura los elementos señalados, indicando brevemente la función que cumplen.
2. Localiza los errores cometidos en la instalación de estos componentes y justifica la solución que adoptarías en cada caso.

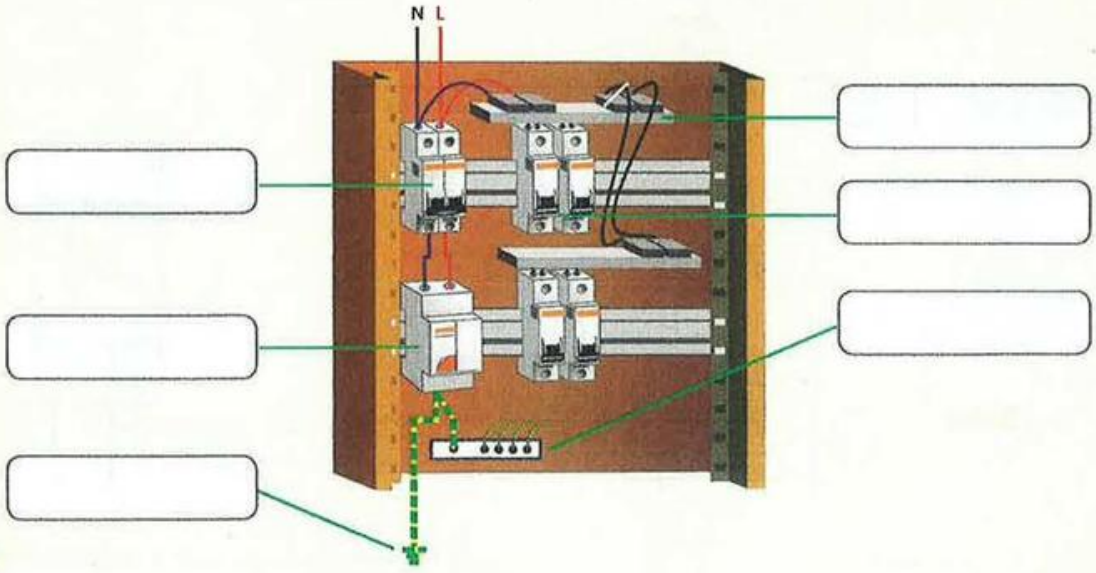


Figura 2.103. *Representación de un cuadro eléctrico con aparamenta de protección.*

2.5. Realiza la conexión de los equipos y dispositivos de medida de los que dispongas en el aula-taller.

Recuerda que la conexión en serie o paralelo está relacionada con la variable a medir y de realizarse mal esta conexión los equipos pueden resultar dañados. Recuerda también consultar las especificaciones del fabricante.

A continuación se muestran algunos ejemplos de estas conexiones para diversos equipos de distinto tipo:

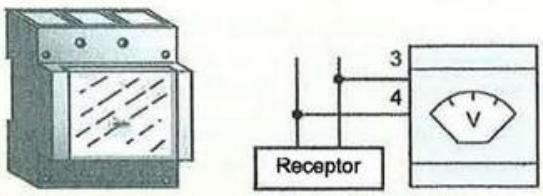


Figura 2.104. *Conexión de voltímetro analógico.*

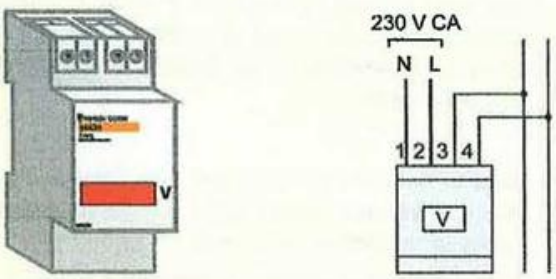


Figura 2.105. *Conexión de voltímetro digital.*

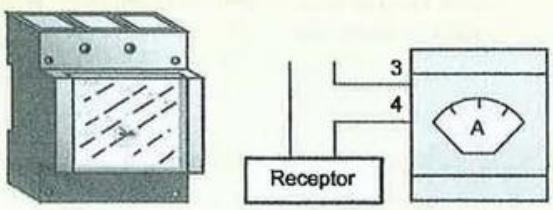


Figura 2.106. *Conexión de amperímetro analógico.*

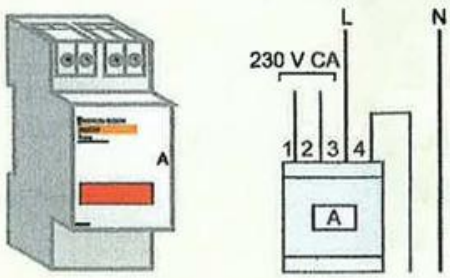


Figura 2.107. *Conexión de amperímetro digital.*

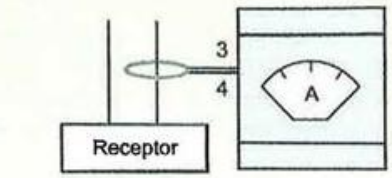


Figura 2.108. *Conexión de amperímetro con transformador de intensidad.*

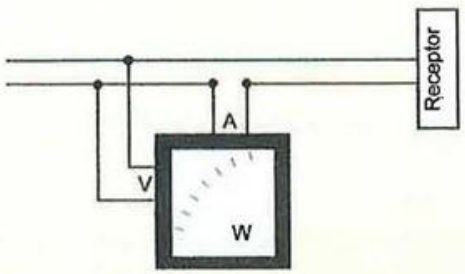


Figura 2.109. *Conexión de vatímetro.*

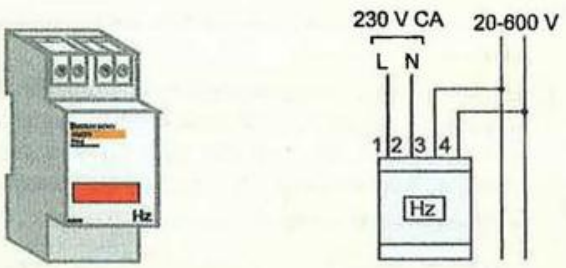


Figura 2.110. *Conexión de frecuencímetro.*

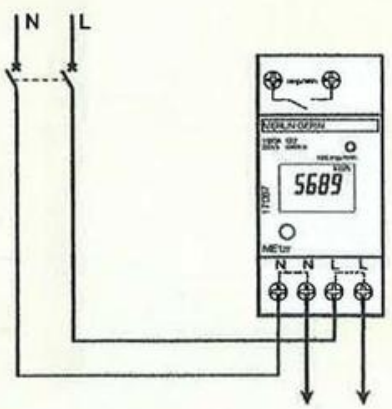
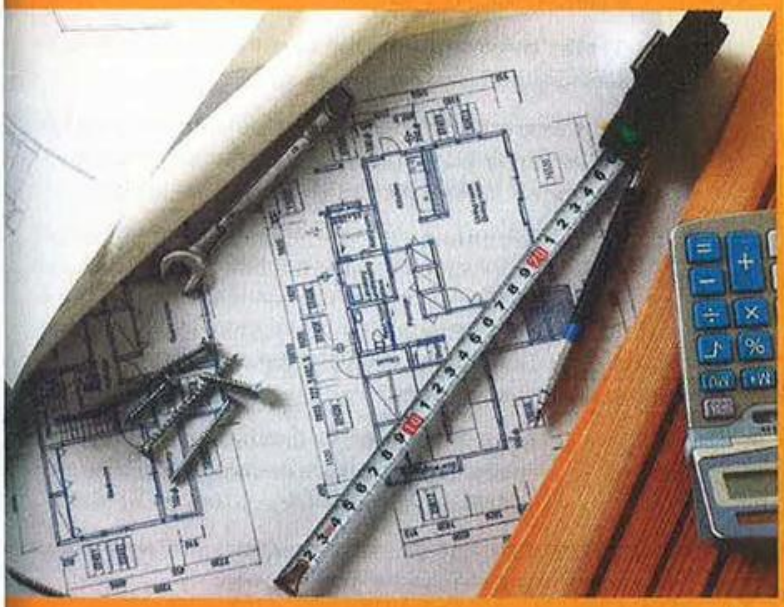


Figura 2.111. *Conexión de contador electrónico para carril DIN.*

Representación gráfica y dibujo industrial

3



Para poder realizar la preinstalación y posterior montaje y puesta en marcha de una instalación eléctrica, es necesario saber reconocer e interpretar los planos y esquemas eléctricos que se faciliten, así como entender la simbología para poder ubicar los componentes de cada circuito adecuadamente.

Es necesario que el instalador electricista tenga amplios conocimientos sobre la simbología eléctrica, la interpretación de planos eléctricos y la confección de esquemas. Asimismo, para poder llevar a cabo las tareas de mecanizado que serán analizadas en unidades posteriores, será también necesario conocer unas nociones básicas sobre dibujo industrial.

En esta unidad aprenderemos a realizar e interpretar de una manera sencilla los planos, los esquemas y las representaciones más utilizados en las instalaciones eléctricas, tras una breve introducción al dibujo industrial.

Contenidos

- 3.1. Fundamentos del dibujo industrial
- 3.2. Gestión de la documentación gráfica
- 3.3. Representación de planos de edificación y obra civil
- 3.4. Representación de los circuitos eléctricos
- 3.5. Planos representativos de las instalaciones electrotécnicas

Objetivos

- Introducirnos al dibujo industrial.
- Identificar los principales procesos de representación.
- Conocer los diferentes planos y posibles representaciones de las instalaciones eléctricas.
- Saber interpretar adecuadamente los esquemas y planos eléctricos.
- Aprender a gestionar adecuadamente la documentación gráfica.

3.1. Fundamentos del dibujo industrial

La representación industrial consiste en dibujar las piezas y objetos para conocer en detalle sus dimensiones y singularidades. Actualmente, para llevar a cabo esta tarea se utilizan programas informáticos para la elaboración de planos, con las grandes ventajas que esto supone en cuanto a modificaciones posteriores, trazado de diferentes partes de una pieza compleja mediante capas en las que se selecciona exclusivamente la parte que se desea visualizar, ya sea en pantalla o en soporte papel, y muchas otras opciones que facilitan al técnico la tarea de analizar y entender fácilmente el objeto delineado.

Toda la representación de un dibujo industrial está normalizada, debiendo utilizar siempre unas reglas y técnicas de delineación concretas.

En el dibujo técnico industrial existen numerosas pautas de normalización, pero a continuación se describen las más comunes relacionadas con la realización de esquemas y circuitos electrotécnicos:

- Norma UNE-EN ISO 5457, sobre formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo.
- Norma UNE-EN ISO 3098, sobre escritura en la documentación técnica de productos.
- Norma UNE-EN ISO 128 y UNE 1032, sobre principios generales de presentación de dibujos técnicos.
- Norma UNE 1039, sobre principios generales, definiciones, métodos de ejecución e indicaciones especiales de acotación.
- Norma UNE-EN ISO 7519, sobre principios generales de representación para distribuciones generales y dibujos de conjunto y construcción.

Tras reconocer las disposiciones legales aplicables al proceso de representación gráfica a ejecutar, el siguiente paso será seleccionar la solución adecuada. A la hora de representar cualquier objeto utilizando métodos gráficos, será necesario distinguir entre las diferentes posibilidades respecto a trazos, grosores, vistas, escalas, etc., que quedarán definidas a continuación.

3.1.1. Trazos y grosores

Para representar un objeto relacionado con el entorno industrial, se emplean diferentes tipos de líneas, que se caracterizan por su grosor y forma de trazo. Cada una de ellas se emplea para diferentes partes del plano o esquema y se detallan a continuación.

Tipos de trazos

- **Trazos continuos:** sirven para representar las partes vistas de las piezas u objetos a representar tales como contornos vistos y aristas vistas. Se emplean también en planos de detalle en los que se representan secciones vistas o roturas de piezas aclarando lo que se ve en su interior. Acompañados de flechas relacionadas con una magnitud lineal, sirven para acotar, señalando las dimensiones de cada una de las partes del objeto representado para que su interpretación sea única. También son utilizados en líneas de proyección, líneas de referencia, rayados, contornos de secciones abatidas y ejes cortos.
- **Trazos discontinuos:** son aquellos que están representados por:
  - **Raya-espacio-raya:** se suelen emplear para representar partes de piezas que por su posición en las que están representadas, aparecen ocultas.
  - **Raya-punto-raya:** se emplean para representar ejes de revolución, cuya función es representar la posición del centro de circunferencias y curvas similares mostrando ejes de revolución y de simetría. También se emplean para representar trazas de plano de corte.
  - **Raya y doble punto:** se utilizan para representar posiciones intermedias y extremos de piezas móviles, centros de gravedad, trayectorias y similares.
- **Trazos en zigzag:** son líneas rectas con zigzag intermedio. Se utilizan para indicar cortes.
- **Trazos a mano alzada:** se realiza este tipo de trazo cuando se quiere indicar los límites de vistas, cortes parciales y cortes interrumpidos.

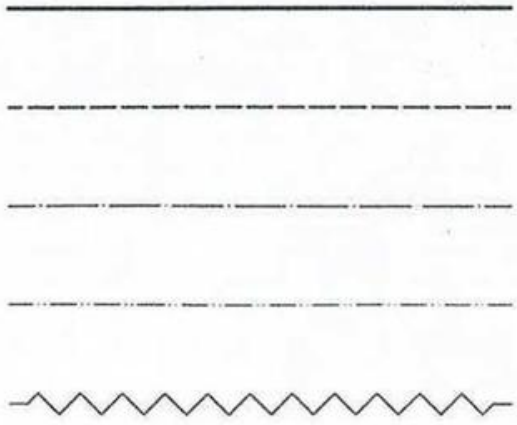


Figura 3.1. *Diferentes tipos de líneas según su trazo.*

Figura 3.2. *Prioridades en caso de coincidencia de líneas en un dibujo técnico.*

Grosores de las líneas

Según los grosores de las líneas, estas pueden ser gruesas o finas, y además depender de las dimensiones del plano.

Cuando en un dibujo **coexisten líneas gruesas y finas, la relación del grosor entre ellas ha de ser superior a 2.** Es decir, si se utiliza un grosor de 0,7, no se puede utilizar para líneas finas 0,5, ya que 0,7 / 0,5 = 1,4. Se utilizará, por ejemplo, 0,35 o inferior, ya que 0,7 / 0,35 = 2.

Los grosores de las líneas deben utilizarse según las dimensiones o tipo de representación gráfica entre la gama de las siguientes anchuras de líneas normalizadas dadas en mm:

Tabla 3.1. Grosores normalizados de líneas (en mm).

0,18	0,25	0,35	0,5	0,7	1	1,4	2

- **Grosor 0,7 a 0,9 mm: para partes vistas y secciones**

  Se emplea para delimitar la forma que tiene la pieza representada. Se utiliza el grosor más ancho posible ya que indica el contorno.

  En las partes seccionadas de la pieza, se trazan líneas a ángulos de 30°, 45° o 60° para indicar las partes de material que tienen en común las dos partes separadas, como si se cortase con un cuchillo.

  También, se utilizan para representar diferentes tipos de rayado según el material. Por ejemplo, para el caso del **cobre**, muy utilizado en los componentes para automatismos industriales, se representa alternando líneas continuas y discontinuas en su sección:

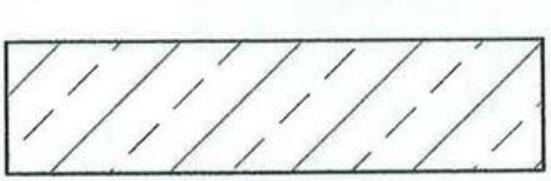


Figura 3.3. *Representación del material cobre en una sección de una pieza.*

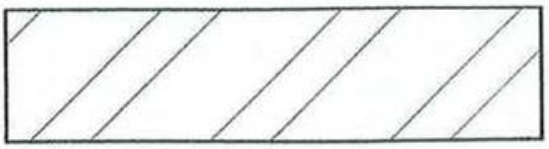


Figura 3.4. *Representación del material acero en una sección de una pieza.*

- **Grosor 0,3 a 0,5 mm: para líneas de centros y líneas ocultas**

  Si son líneas discontinuas, pueden representar partes ocultas del dibujo o líneas de centros y de ejes de simetría.

  En caso de ser continuas de este grosor, siempre que las líneas vistas y secciones utilicen anchuras superiores, se emplean para la acotación de cada una de las singularidades de la pieza representada.

- **Grosor 0,3, 0,5 o 0,7 mm: para líneas de roturas**

  Son líneas que se emplean para indicar que una parte de la pieza no se representa. Si el objeto es recto, se representa con una línea en forma de Z. En caso de cortes en piezas redondas, esta línea toma la forma de S.

3.1.2. Procesos y técnicas de croquizado

Los objetos, las piezas y los sistemas asociados al entorno eléctrico y de los automatismos industriales pueden ser representados de diferentes maneras, entre las que destacan: el plano, el esquema, el croquis y el boceto técnico.

- Un **boceto técnico** es una representación a mano alzada sin detallar demasiado la pieza u objeto a representar.
- Un **croquis** es un dibujo muy parecido al boceto, ejecutado sin la ayuda de instrumentos, en el que se realiza una anotación rápida y básica de lo esencial. Es un dibujo en el que se intenta respetar las proporciones y la escala, pero al hacerse sin instrumentos, no posee la precisión suficiente para realizar medidas sobre él y por supuesto no debe ceñirse de manera estricta al resultado final.
- Un **plano** es una representación gráfica llevada a cabo de forma precisa. Se utilizan acotaciones y los utensilios de dibujo necesarios, usando siempre la simbología convencional de representación. No debe contener tachaduras o dibujos superpuestos, y siempre se realiza a escala para que guarde proporción con la realidad.
- Un **esquema** se podría definir como la representación intermedia entre el croquis y el plano. Es lo más común para representar instalaciones eléctricas.

Puesto que el croquis consiste en un dibujo rápido y sencillo que aporta los datos suficientes relativos a la forma definitiva del objeto, debe ser siempre realizado a mano alzada, pero guardando un rigor con la pieza representada.

Este método gráfico es considerado como un boceto que ofrece unas pautas previas de lo que se desea representar, sin entrar en detalles, usando el mínimo de trazos posible. Al realizarse a mano alzada no se sigue escala alguna, aunque debe respetarse en lo posible la proporción en las medidas. Suele ejecutarse sin hacer uso de colores y de forma lineal.

Antes de elaborar un croquis es necesario seguir las siguientes pautas:

1. **Análisis de la pieza:** antes de comenzar el croquis hay que analizar detenidamente el elemento a representar, realizando una imagen mental de sus partes y sus detalles.
2. **Elección de las vistas, secciones, cortes o perspectivas a realizar:** se determinan las vistas mínimas, necesarias y suficientes para representar correctamente la pieza, estimando adecuadamente sus dimensiones.
3. **Replanteo del dibujo sobre papel:** en este punto hay que disponerse a representar el croquis sobre el papel. Este debe ser lo suficientemente grande para poder ilustrar todos los detalles claramente, pero dejando un espacio suficiente para la acotación y las especificaciones.
4. **Representación de la vista representativa:** lo primero que hay que dibujar es la vista que represente la forma más característica de la pieza, generalmente se selecciona la vista que contiene más circunferencias, en caso de existir. A continuación se añaden los detalles manteniendo siempre la proporción.
5. **Revisión del croquis:** para detectar posibles fallos en su ejecución.
6. **Toma de medidas, acotación y anotación de las especificaciones:** una vez revisado el croquis se procede a acotarlo, siempre que esto se considere necesario. En este punto pueden realizarse las medidas para anotarlas, midiendo siempre en superficies acabadas.

   Como paso final se añaden todas las especificaciones necesarias de la pieza representada.
7. **Comprobación final:** tras realizar correctamente todas las fases se procede a la revisión del croquis definitivo.

Debido a que los croquis se realizan a mano alzada, es necesario utilizar ciertos patrones para obtener dibujos de forma rápida y que sean legibles:

- Las líneas serán lo más claras y concisas posible para una fácil interpretación del croquis. Han de ser negras y densas, excepto las de construcción y las auxiliares.

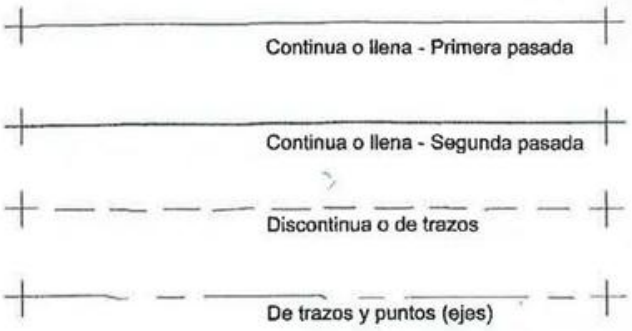


Figura 3.5. *Tipos de líneas utilizadas en la realización de croquis.*

- Antes de trazar una recta deben marcarse los puntos de sus extremos para realizarla con mayor precisión.
- El lápiz debe sostenerse a una distancia entre los dedos y el papel mayor de la que se suele dejar para escribir.
- El papel debe estar orientado en la posición más cómoda para dibujar.
- El papel podrá ser cuadriculado para ayudar a la realización del dibujo.
- Para trazar líneas oblicuas puede resultar más cómodo girar el papel para realizar líneas horizontales equivalentes.

Figura 3.6. *Croquis de los planos de planta de una edificación.*

3.1.3. Escalas y proporciones

La escala es la constante de proporcionalidad entre la figura representada gráficamente y la realidad, por lo que se define como la relación de tamaño entre las dimensiones del dibujo y el tamaño que tiene el objeto real al que representa.

Es necesario indicar en el dibujo la escala a la que esté realizado, siempre que esto sea posible, con el objetivo de poder realizar medidas sobre el papel y exportarlas correctamente a la pieza objeto.

Toda escala se expresa en forma de fracción. El numerador indica la medida del dibujo y el denominador la medida del objeto real:

$$\text{Escala} = \frac{\text{Tamaño del dibujo}}{\text{Tamaño real}}$$

La elección de una escala adecuada debe poder permitir que el dibujo sea interpretado de manera clara y sencilla. Esta elección, por tanto, dependerá del objeto que se va a representar y de la finalidad del mismo. Los tipos de escalas existentes se clasifican en tres grupos:

- **Escala natural:** cuando las medidas del dibujo se corresponden con las reales del objeto. Se denomina *Escala 1:1*.
- **Escala de reducción:** cuando las medidas del dibujo son menores a las medidas reales del objeto, es decir el objeto dibujado es menor al real. Por ejemplo, *Escala 1:2*.
- **Escala de ampliación:** cuando las medias del dibujo son mayores que las del objeto a representar, es decir cuando el objeto a representar es menor que el objeto a tamaño real. Por ejemplo, *Escala 4:1*.

A pesar de que en la práctica es posible utilizar cualquier escala, las más recomendables para la representación de planos y esquemas, al encontrarse normalizadas, son las indicadas a continuación:

Tabla 3.2. Escalas normalizadas.

Tipo de escala	Recomendaciones		
De ampliación	50:1	20:1	10:1
	5:1	2:1	
Natural	1:1		
De reducción	1:2	1:5	1:10
	1:20	1:50	1:100
	1:200	1:500	1:1.000
	1:2.000	1:5.000	1:10.000

SABÍAS QUE

Si se utilizan varias escalas, la principal se ha de indicar en el cuadro de rotulación del plano y las secundarias al lado del número de referencia del objeto.

3.1.4. Acotación

Las proyecciones de un determinado dibujo deben ser precisas y poseer unas características gráficas que lo hagan lo suficientemente claro a la persona que lo va a interpretar o utilizar. Dado que el papel es un medio que puede sufrir deterioros fácilmente, es necesario llevar a cabo la acotación de las piezas y objetos representados, indicando sus medidas de forma sencilla y eficaz. Mediante la acotación, por tanto, se evitan los errores de medición sobre el dibujo.

La acotación debe realizarse siempre respetando el uso de símbolos y técnicas normalizadas. Para acotar correctamente una pieza se deberán tener en cuenta las siguientes indicaciones:

- Los objetos se acotan según su función, fabricación o verificación.
- La acotación debe indicar todas las dimensiones de una pieza.
- Cada elemento se acota una sola vez en el dibujo.
- Siempre se han de colocar sobre la vista más representativa.
- Solo se han de emplear las cotas imprescindibles para definir el tamaño de la pieza.
- Todas las cotas se han de expresar en la misma unidad (generalmente en milímetros).
- Nunca se pone la unidad métrica en la cota.
- El tamaño de los números deberá ser apropiado en función del tamaño de los objetos a acotar.

Los elementos que intervienen en el proceso de acotación son los siguientes:

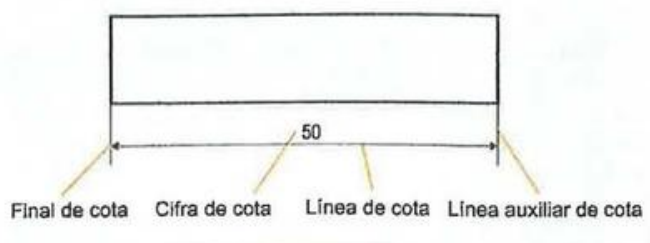


Figura 3.7. *Elementos que intervienen en la acotación.*

Línea de cota: es la línea paralela a la dimensión a que se quiere acotar. Sobre ella se coloca el valor numérico de la cota (cifra de cota). Las líneas de cota deben cumplir los siguientes criterios de representación:

- La distancia entre la línea de cota y el dibujo no debe ser inferior a 8 mm.
- La distancia entre dos líneas de cota no debe ser inferior a 5 mm.
- Las cotas no deben cruzarse entre sí ni con las líneas del dibujo.
- No deben usarse los ejes de simetría ni las aristas como línea de cota.
- No deben trazarse las líneas de cota en prolongación de aristas de una pieza.
- Nunca se debe acotar sobre líneas ocultas.

Cifra de cota: es el número que indica la magnitud de la medida. Debe situarse en el centro de la línea de cota, por encima o por debajo de la misma pero siempre siguiendo el mismo criterio en todo el dibujo.

Se pueden utilizar dos métodos para expresar la cifra de cota:

- Colocar las cifras de cota paralelas a las líneas de cota, sin que sean cortadas, ni separadas por ninguna línea del dibujo. De esta forma su lectura se puede hacer desde abajo o desde la derecha.
- Representar las cifras de cota de tal forma que solo puedan leerse desde la parte de debajo de la hoja. Las líneas de cota son interrumpidas en el centro de la cota para insertar las cifras de cota.

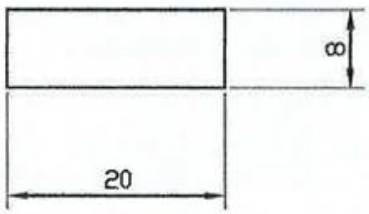


Figura 3.8. *Ejemplos de ubicación de la cifra de cota de manera horizontal y vertical.*

Línea auxiliar de cota: limita la longitud de las líneas de cota, siendo perpendicular a la misma. Debe sobresalir unos 2 mm respecto de la línea de cota. Las líneas auxiliares de cota pueden cruzarse entre sí siempre que sea estrictamente necesario.

Final de cota: las líneas de cota terminan en sus extremos por una punta de flecha, un trazo oblicuo a 45 grados o un pequeño círculo.

Figura 3.9. *Diferentes finales de cota.*

Línea de referencia: se utiliza solo para indicar valores dimensionales o notas explicativas en el dibujo, mediante una línea que une el texto al dibujo. Las líneas de referencia pueden acabar de tres modos:

- En forma de flecha: cuando acaba en contorno o arista.
- Como un punto: cuando acaba en el interior de la pieza.
- Sin flecha ni punto: cuando acaba en otra línea.

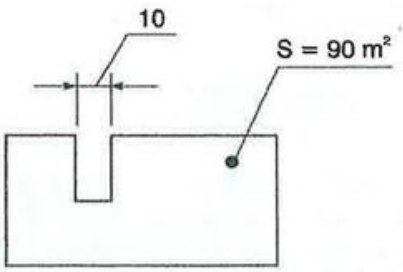


Figura 3.10. *Ejemplos de líneas de referencia.*

También existen diversos **símbolos** asociados a la acotación, como los que se muestran a continuación:

□ Símbolo de cuadrado
Ø Símbolo de diámetro
R Símbolo de radio
SR Símbolo de radio de una esfera
SØ Símbolo de diámetro de una esfera

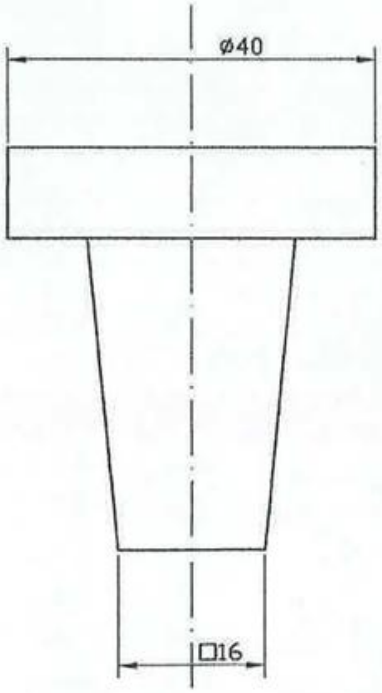


Figura 3.11. *Ejemplos de simbología asociada a la acotación.*

Procesos de acotación

Para realizar la correcta acotación de los diversos elementos y figuras que pueden presentarse en un plano, es necesario tener en cuenta cómo se han de expresar las líneas de cota y las cifras de cota dependiendo de la situación y geometrías de las piezas.

- **Elementos lineales:** las flechas se deben dibujar dentro de las líneas de cota entre las dos líneas auxiliares. La cifra de cota se ubica sobre la línea de cota, pero en caso de no haber espacio suficiente para ello se dibujarán las líneas de cota prolongándolas hacia el exterior y con la cifra de cota en su interior.

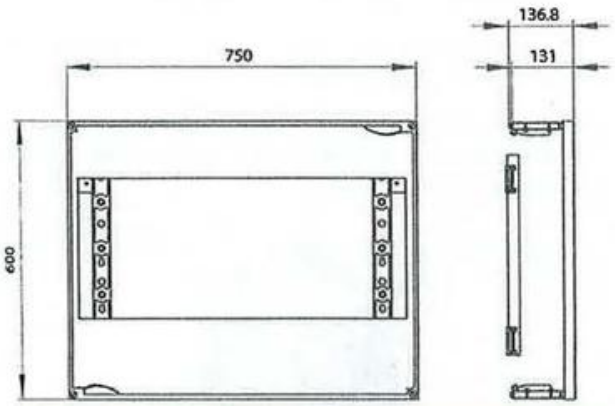


Figura 3.12. *Ejemplos de acotación de elementos lineales.*

- **Diámetros:** los arcos que son mayores de 180 grados se acotan por su diámetro, los menores de 180 grados se acotan por su radio. En el caso de arcos exactamente de 180 grados, se pueden acotar de ambas formas.

  La acotación en caso de falta de espacio para las líneas de cota o las cifras de cota se hace como se muestra en la siguiente figura, de manera similar a las normas de acotación de elementos lineales.

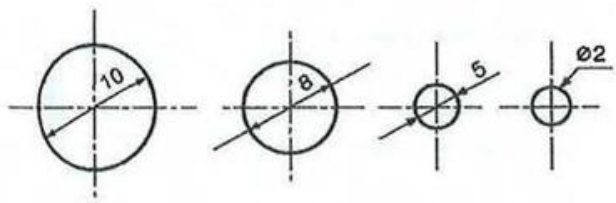


Figura 3.13. *Diferentes métodos de acotación de diámetros.*

  El símbolo del diámetro se sitúa delante de la cifra de cota solo cuando existe una forma circular que no se aprecia en la vista representada, cuando la cifra está fuera de la línea de cota por ser el espacio insuficiente o en una circunferencia incompleta si la cota se ha expresado con una sola flecha.

- **Radios:** las líneas de cota de los radios se marcan con una sola flecha en el arco de la circunferencia interior o exterior y el centro se señala mediante una cruz o un círculo pequeño. En caso de no indicar la posición del centro, se añadirá la letra R delante de la cifra de cota. Si el radio es muy grande, es posible realizar una línea de cota partida, poniendo la cifra de cota y la letra R lo más cerca posible al arco acotado.

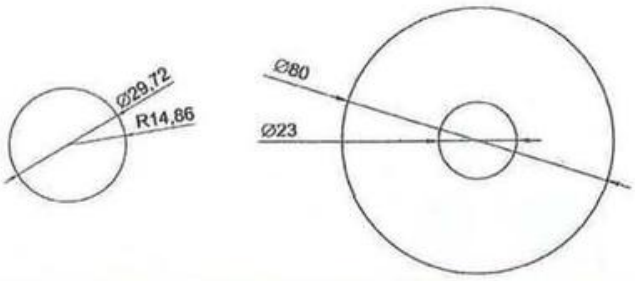


Figura 3.14. *Ejemplos de acotación de radios y diámetros.*

- **Cuadrados:** en el caso de representar un cuadrado que no pueda ser identificado visualmente con las vistas aportadas, se colocará el símbolo del cuadrado delante de la cifra de cota.

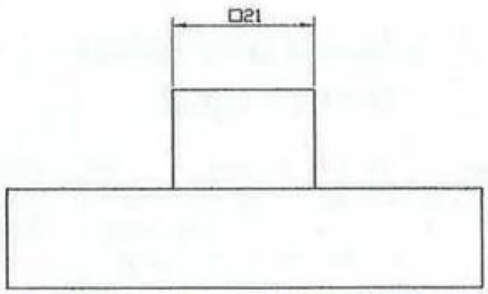


Figura 3.15. *Ejemplo de acotación de cuadrados.*

- **Superficies planas:** si una superficie es plana y el resto de las vistas no lo aclaran, se puede utilizar la cruz de San Andrés. Este método se basa en unir los vértices opuestos de la figura rectangular plana.

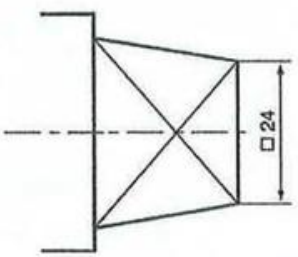
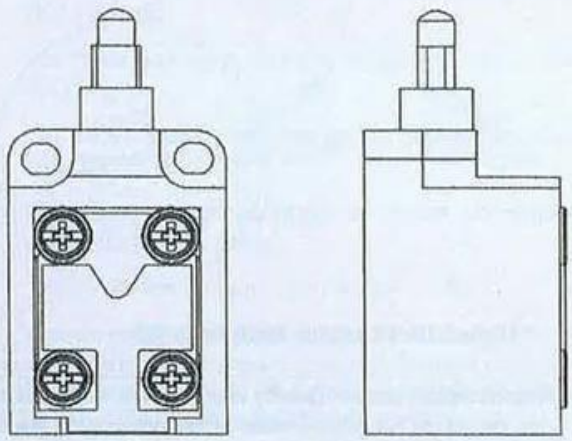


Figura 3.16. *Cruz de San Andrés.*

- **Esfera:** si se representa una esfera se puede añadir una S antes de la cifra de cota para indicarlo claramente.

Actividad propuesta 3.1

Realiza la acotación del siguiente dibujo industrial, que representa un interruptor mecánico final de carrera. Las medidas del mismo no tienen que coincidir con el dibujo ya que no se indica la escala, pero deben guardar proporción entre sí.



3.1.5. Sistemas de representación de piezas y objetos

La **perspectiva de una pieza** es su representación en un plano (dos dimensiones) de forma parecida a como lo ve el ojo humano físicamente, en tres dimensiones. Estas dimensiones son alto, ancho y fondo de la pieza.

Las **vistas de una pieza** hacen referencia a un tipo de sistema ortogonal en el que se representan las piezas desde determinados puntos de vista, como son el alzado, la planta y el perfil. Tiene el inconveniente que a simple vista no se visualiza la figura como estamos acostumbrados, pero sin embargo sobre ella se pueden tomar todas las medidas precisas, ya que con una perspectiva no se puede realizar de forma sencilla.

En base a estos conceptos de perspectiva y vistas, es posible identificar y definir los sistemas de representación de piezas y objetos más utilizados en la actualidad (Figura 3.17).

Perspectiva isométrica

Se trata de tres ejes coordenados ortogonales en los que sus proyecciones forman un ángulo de 120 grados entre ellos sobre el plano. Todas las dimensiones de las piezas son paralelas a estos ejes representados a la misma escala.

Dos de los ejes se representan a 30° sobre la horizontal y el tercero a 60° respecto a estos.

Este sistema tiene la ventaja de representar objetos a escala sin reducción aparente de la distancia que el ojo hace sobre el objeto en la realidad.

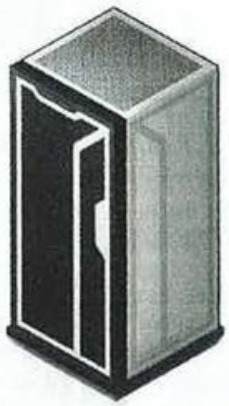


Figura 3.18. *Representación en perspectiva isométrica de un rack para servidor.*

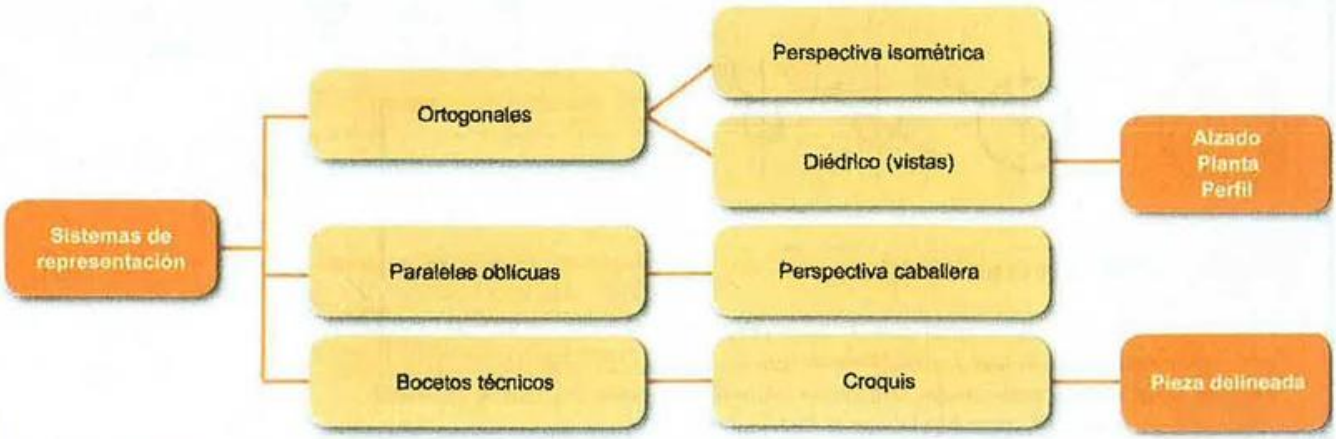


Figura 3.17. *Sistemas de representación gráfica.*

SABÍAS QUE

La representación isométrica es una palabra que deriva del griego, cuyo significado es "igual medida". Esto es, la escala en cada uno de los tres ejes es la misma, a diferencia de los otros dos sistemas de representación.

Perspectiva caballera

Consiste en la representación de piezas mediante proyecciones paralelas oblicuas, que se caracteriza porque la parte frontal está en verdadera magnitud, mientras que a la profundidad, se le aplica un coeficiente de reducción, que puede ser de $^2/_3$, $^3/_4$, $^1/_2$ ... de la medida real del eje OY.

Los ejes X y Z forman un ángulo de 90°, y el eje Y, que es la profundidad, puede tomar diferentes ángulos respecto a los anteriores, según muestra la figura siguiente:

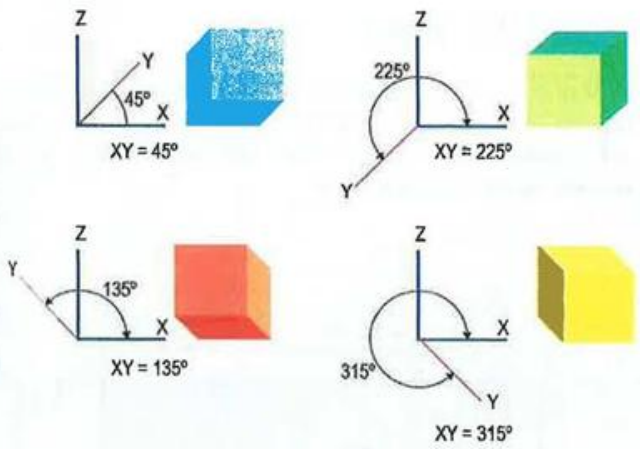


Figura 3.19. *Disposición de los ejes y vistas en perspectiva caballera.*

La perspectiva caballera es la más fácil de realizar, pero tiene el inconveniente de no dar una representación tan real como otras, como por ejemplo la perspectiva isométrica.

Sistema diédrico

Para representar una pieza tridimensional en dos dimensiones se utiliza el sistema diédrico. Se trata de proyecciones ortogonales, es decir, la proyección de una pieza sobre dos planos que se cortan perpendicularmente.

A la hora de definir una pieza se necesitan tres vistas: alzado, planta y perfil. Si se tiene el dibujo en representación isométrica, se marca con una flecha la vista que corresponde al alzado. Existen dos tipos de representación de vistas en sistema diédrico: la europea (que es la que se define a continuación) y la americana.

La representación diédrica europea de la pieza está entre el plano que se va a proyectar y los ojos del observador. Se definen las siguientes vistas:

- **Alzado:** es la denominada vista principal, ya que las otras se colocan en torno a él. Es la vista que más información da de la pieza.
- **Plantas:** pueden ser superiores e inferiores. Están alineadas en vertical con el alzado. Si es la vista planta superior, se sitúa debajo del alzado, mientras que si es la planta inferior se ubica encima del alzado.
- **Perfil izquierdo:** se sitúa a la derecha del alzado.
- **Perfil derecho:** se ubica a la izquierda del alzado.
- **Alzado posterior:** se dibuja a la derecha del perfil izquierdo.

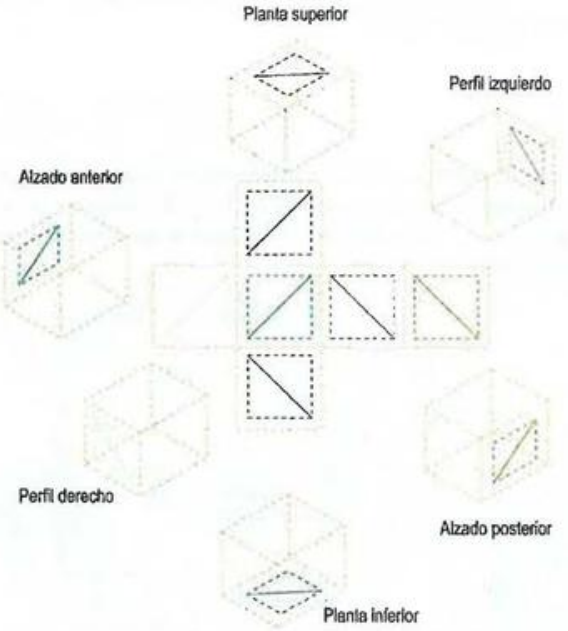


Figura 3.20. *Vistas posibles de una pieza en el sistema diédrico.*

SABÍAS QUE

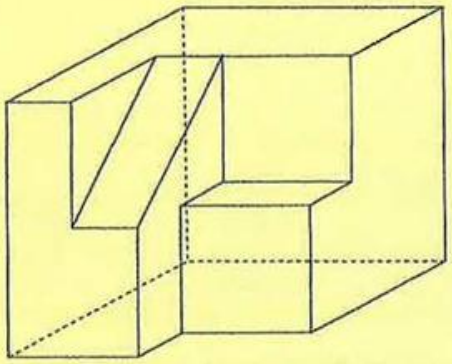
Las hojas técnicas de características de la mayoría de los componentes de las instalaciones eléctricas proporcionadas por el fabricante suelen incluir las vistas diédricas mínimas del equipo o dispositivo, con sus cotas correspondientes.

En la práctica no siempre es necesario indicar todas las vistas de una determinada pieza sino únicamente las necesarias para que esta quede perfectamente definida y pueda ser interpretada de la manera más adecuada, tal como se muestra a continuación:

Figura 3.21. *Ejemplo de las vistas y cotas mínimas necesarias para definir el cofre de un cuadro eléctrico.*

Actividad resuelta 3.1

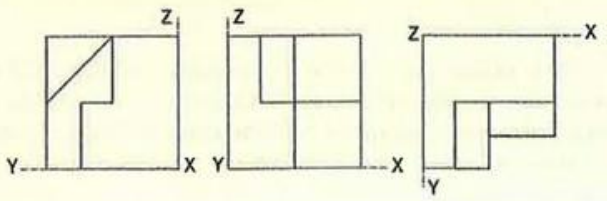
Dada la siguiente figura tridimensional representada en perspectiva caballera con ejes XY = 225°, obtén las vistas de alzado, planta superior y vista lateral derecha en el sistema diédrico europeo.



¿Crees que son suficientes estas tres vistas para definir la pieza?

Solución:

Utilizando el coeficiente de reducción de la perspectiva en el eje OY de ¾, se obtienen las siguientes vistas, que para la pieza dada sí pueden ser consideradas como suficientes.



3.2. Gestión de la documentación gráfica

Los procesos de digitalización de la documentación han logrado que se estandaricen muchos de los procesos de la gestión de los archivos, de manera que resulte mucho más sencillo utilizar los formatos adecuados a cada plano, esquema, croquis o texto. A pesar de las facilidades que nos proporcionan los medios electrónicos actuales es imprescindible conocer y aplicar ciertos conocimientos que hacen que la documentación de cualquier proyecto pueda ser gestionada correctamente durante mucho tiempo después de su realización, y sea comprensible muchos años después por cualquier usuario cualificado que requiera su uso.

La documentación gráfica debe tratarse de manera adecuada, respetando las pautas de gestión de archivos relativas a su formato, plegado, impresión, etc.

3.2.1. Formato

El formato es básicamente el tamaño del impreso sobre el que está representado el plano o esquema. Será necesario seleccionar el formato adecuado dependiendo del tipo de trabajo que se vaya a realizar.

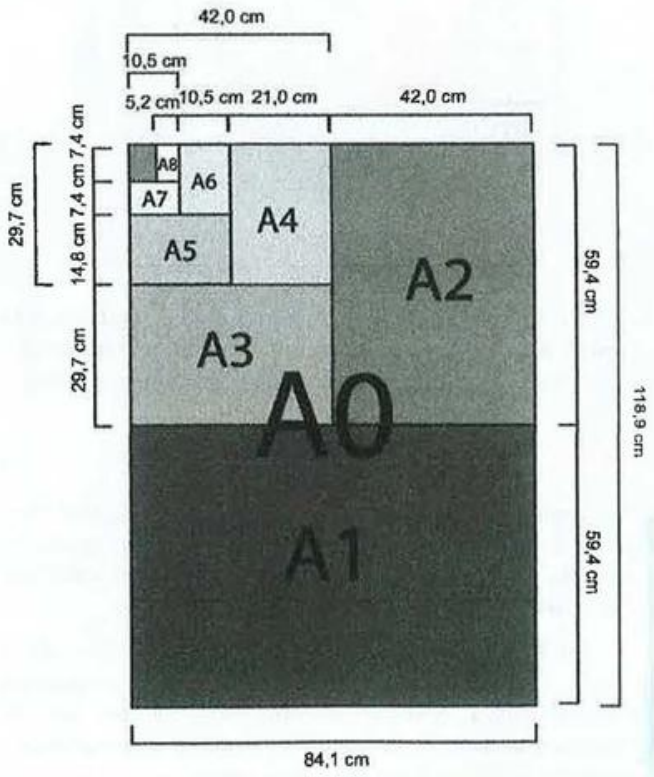


Figura 3.22. *Formatos de papel.*

Los formatos del papel están estandarizados en base a la norma europea ISO 216, cuya finalidad es la de aprovechar el papel al máximo minimizando los desperdicios por cortes excesivos.

En España se ha adoptado el formato base que parte del denominado **A0**, cuya dimensión característica se corresponde con un metro cuadrado (1.189 mm × 841 mm), manteniendo los lados una proporción de $1/\sqrt{2}$. De este modo todos los formatos sucesivos se consiguen plegando el A0 sobre su lado más largo.

El siguiente formato, por tanto, se obtiene con la misma proporción de sus lados y se denomina **A1**. Al continuar plegando cada papel sucesivamente sobre su lado más largo se obtienen el resto de formatos: **A2**, **A3**, **A4**, **A5**, **A6**, **A7**, **A8**, **A9** y **A10**.

3.2.2. Márgenes y cuadro de rotulación

Un documento gráfico debe aportar la información necesaria a la persona que lo utiliza con un primer vistazo, por ello es necesario que tenga una composición normalizada de fácil comprensión y una serie de detalles significativos con el fin de que las características básicas para identificar y diferenciar un tipo de plano o esquema de otro puedan realizarse de manera rápida y eficaz.

A la hora de realizar una representación técnica no resulta posible emplear todo el formato disponible, sino que debe acotarse una superficie útil y una zona delimitada mediante márgenes y un cuadro de rotulación, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 3.23. *Composición de un plano en formato de papel A4.*

- **Área de dibujo.** Es la zona en la que se sitúa el dibujo técnico, esquema, plano o croquis. Debe estar encerrada dentro de un marco y no salir nunca de él.
- **Márgenes.** Delimitan el marco que encierra el área de dibujo, separándole de los elementos gráficos complementarios. Según la norma UNE 1-026-83 la anchura de los márgenes será como mínimo de 20 mm para los formatos A0 y A1 y de 10 mm para los formatos A2, A3 y A4.
- **Margen de archivo.** En caso de que el documento gráfico vaya a ser archivado, se dejará un margen de archivo para la perforación en la parte izquierda. Ha de tener una anchura mínima de 20 mm.
- **Recuadro de rotulación.** Es el cuadro que proporciona toda la información técnica relativa al dibujo. Se debe situar en la cara visible en caso de ser plegado y preferiblemente en el margen inferior derecho para su cómoda localización, tal como se muestra a continuación:

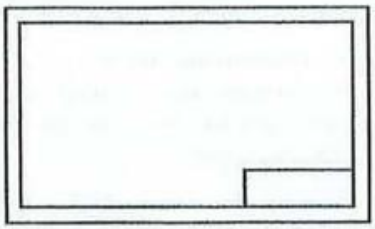


Figura 3.24. *Cuadro de rotulación en papel con formato horizontal.*

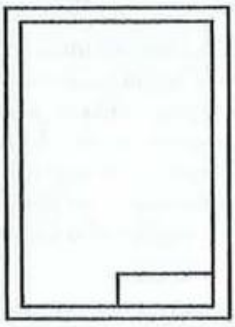


Figura 3.25. *Cuadro de rotulación en papel con formato vertical.*

La norma UNE-EN ISO 7200 establece los campos de datos en bloques de títulos y en cabeceras de documentos. Es imprescindible que en un cuadro de rotulación queden reflejados, como mínimo, los siguientes datos:

- Denominación del plano.
- Número de plano/hoja.
- Título del proyecto al que pertenece.

- Emplazamiento del proyecto.
- Autor del plano.
- Técnico que lo firma o aprueba (en caso de ser distinto).
- Empresa que realiza el plano (propietario legal).
- Fecha de realización.
- Cliente o titular de la instalación.
- Escala (si procede y no ha sido incluida en el interior del plano).
- Índice de revisión.

SABÍAS QUE

El recuadro de rotulación también se conoce coloquialmente como *cajetín* o *bloque de títulos*.

En determinados documentos, y siempre que proceda, es posible encontrar también los siguientes elementos:

- **Señales de orientación:** usadas principalmente en planos de emplazamiento, su finalidad es indicar un punto cardinal para su colocación adecuada. Normalmente se señala el Norte.
- **Escala:** la cual podrá estar incluida dentro del recuadro de rotulación o en el área de dibujo.
- **Señales de corte:** ayudan al corte del plano correctamente. Suelen realizarse en la documentación gráfica de gran tamaño que será impresa en un plóter.
- **Recuadros exteriores alfanuméricos:** muy utilizados en los esquemas de automatismos industriales (sobre todo cuando son muy extensos y ocupan varios folios), para identificar mediante coordenadas *letra-número* la posición, por ejemplo, de los contactos auxiliares que acciona un determinado mecanismo, facilitando su localización y la interpretación del proceso.

3.2.3. Impresión de planos y esquemas

La impresión de los planos se realiza por medio de impresoras convencionales en caso de formatos comunes, como pueden ser en A4 y en A3. En cambio, para la impresión de planos en formatos mayores, se requiere de equipos especializados.

Para formatos muy grandes es común utilizar el plóter o *plotter*. Un plóter es una impresora lineal que tiene la capacidad de imprimir archivos en formatos de papel grandes, como pueden ser los tamaños A0 o A1. Los plóteres profesionales pueden alcanzar hasta los 157 cm de ancho de papel.

3.2.4. Plegado de planos

Una vez determinado el formato de plano más adecuado para realizar la representación gráfica y tras su impresión, se procede a su doblado para almacenarlo o archivarlo correctamente, evitando así su deterioro. La norma UNE 1027 establece que el plegado ha de realizarse de tal forma que su tamaño final sea el de un A4 y que el cuadro de identificación del plano (cajetín) quede en la parte visible.

El tipo de plegado de los planos varía en función de si van a estar fijados o no:

Plegado con fijación: en este sistema de plegado los planos son perforados por su margen izquierdo para su posterior archivado en sistemas de fijación mecánica de tipo anillas o grapas. La metodología de plegado varía en función del formato.

Figura 3.26. *Plegado de plano A0.*

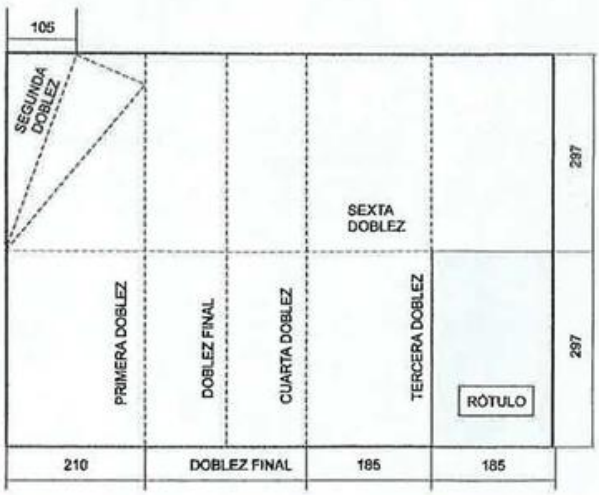


Figura 3.27. *Plegado de plano A1.*

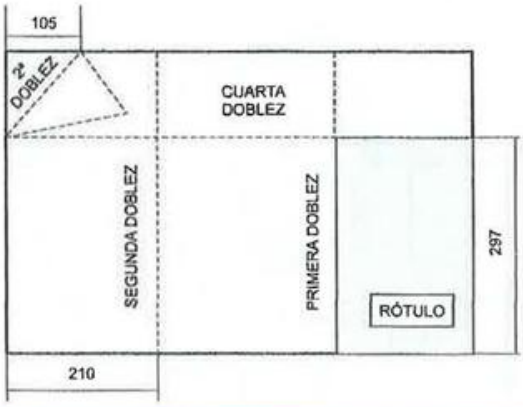


Figura 3.28. *Plegado de plano A2.*

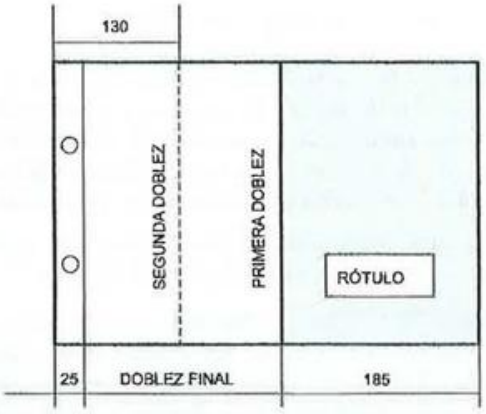


Figura 3.29. *Plegado de plano A3.*

Plegado sin fijación: los planos sin fijación mecánica, que van a ser plegados y posteriormente no van a ser archivados en ningún medio fijo se pueden plegar de la misma manera que los que sí tienen fijación mecánica. Aunque existen ciertas variantes es válido realizar el mismo método de plegado con la salvedad de no realizar las dobleces de la esquina superior izquierda.

3.2.5. Conservación de la documentación gráfica

Los planos originales normalmente se almacenan sin plegar para conservarlos en unas condiciones óptimas de cara a su posterior uso, o simplemente para evitar que sufran deterioros. En caso de ser necesario almacenar los planos sin plegar existen diferentes medios para proporcionar una conservación adecuada. Los más comunes son:

- Enrollados en tubos.
- Almacenados en bandejas apiladas de tamaños adecuados al plano.
- Colgados en armarios que permitan su disposición en forma de archivador.

3.3. Representación de planos de edificación y obra civil

La documentación técnica y gráfica de una instalación eléctrica industrial consta de una serie de planos y esquemas entre los que se pueden incluir los de edificación y obra civil.

Estos planos definen las características constructivas, técnicas y de diseño de las obras y edificaciones que se vayan a ejecutar, y suelen formar parte del proyecto de toda instalación electrotécnica.

Los planos serán los suficientes en número y detalle, tanto para dar una idea clara de las disposiciones que pretenden adoptarse en las instalaciones, como para que la empresa que ejecute la instalación disponga de todos los datos necesarios para la realización de la misma.

3.3.1. Planos de obra civil

Los planos de obra civil son el conjunto de documentos que definen las características constructivas y de diseño de una determinada instalación. Deben contener la información necesaria para su comprensión sin resultar redundantes entre ellos. Existen los siguientes planos para proyectos de obra civil:

Plano de situación general: también conocido como plano de ubicación. Indica dónde se encuentra la instalación objeto del proyecto. Si es necesario se puede aportar más de uno para delimitar correctamente la ubicación. Puede incluir coordenadas geográficas y siempre debe indicarse la escala usada.

Plano de zonificación y parcelación: delimita en sectores las diferentes zonas que pueden existir dentro del plano. Se realiza asignando colores a cada una de las zonas en función del tipo de suelo (industrial, agrícola, residencial...), del tipo de edificación que se representa o de otras características que considera relevante el autor del plano. Pueden asignarse números que identifiquen cada una de las parcelas y siempre debe indicarse la escala usada.

Figura 3.30. *Ejemplo de plano de obra civil de zonificación y parcelación.*

Plano topográfico: es el plano que muestra las principales características físicas del terreno y muestra las diferencias de altura entre los accidentes geográficos. Es necesario realizar un estudio topográfico de la zona para obtener los detalles del emplazamiento. Se definen por las curvas de nivel que reflejan las alturas del terreno. Siempre se incluye la escala.

Plano de trazado: el plano de trazado indica por dónde discurre cierto objeto a representar. Resulta común atribuir un color vistoso al trazado para que queden claras sus delimitaciones dentro del plano objeto.

Perfiles longitudinales y transversales: son planos que atraviesan el eje del emplazamiento de manera transversal o longitudinal, representando la sección por la zona del corte. Sirven para indicar detalles constructivos que no se pueden mostrar en planos convencionales.

3.3.2. Planos de edificación

Un plano de edificación debe definir las características técnicas y constructivas de un edificio. Los proyectos de edificación se pueden dividir en residenciales, no residenciales e industriales.

Plano de emplazamiento: también conocido como plano de situación específica. Al igual que en un proyecto de obra civil, este tipo de plano sirve para ubicar la edificación objeto dentro de un entorno. Puede existir más de un plano de situación con diferentes escalas en función de la situación de la edificación, accesos o características importantes de reseñar por su importancia en el proyecto.

Plano de cimentación: en él se detallen las bases de sustentación de la edificación. Se deben representar con detalle los componentes tales como zapatas, pilares, cimientos corridos, vigas de cimentación, etc.

Plano de planta de distribución y cotas: se usa para establecer el tamaño y la localización de las dependencias de cada planta, incluyendo las cotas de toda la instalación representada. Se deben incluir tantos planos como diferentes plantas existan dentro del edificio, incluyendo los sótanos y la cubierta. Suele indicarse la superficie útil y construida de cada zona sobre el propio plano o en una tabla adjunta.

Plano de estructuras: detalla la estructura interna del edificio. Pueden aportarse diferentes vistas en el mismo plano para ampliar la información. Incluye detalles de los pilares, vigas y columnas presentes.

Plano de planta de mobiliario y maquinaria: es un plano de distribución en el que se indica la ubicación del mobiliario de la edificación o la maquinaria en el caso de instalaciones industriales.

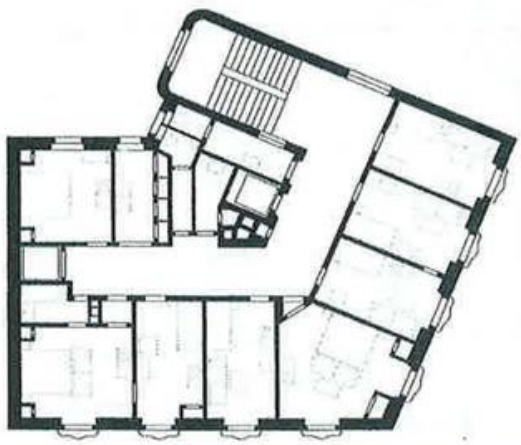


Figura 3.31. *Ejemplo de plano de planta de mobiliario.*

Memorias de carpintería: definen las características de la carpintería de metal y de madera presentes en la edificación, tales como ventanas, puertas, trasdosados interiores y tabiquería. Se definen todos los modelos usados con sus dimensiones, materiales y características constructivas.

Plano de sección constructiva: incluye los detalles de cortes y alzados más relevantes de la edificación.

Sistemas de ventilación forzada: es un plano de planta que representa el recorrido de los conductos de ventilación, las rejillas y los motores de extracción de humos. Únicamente es necesario aportar este tipo de planos en las industrias consideradas como *con riesgo de incendio o explosión.*

SABÍAS QUE

Si un proyecto eléctrico no hace referencia a una instalación nueva, sino que trata sobre una **reforma** o **modificación** de una instalación existente, además de la documentación anterior es recomendable aportar fotografías, tanto de la fachada exterior como del interior de la edificación.

Al realizar los planos de edificación y obra civil, se podrán unificar en un solo documento varios de los planos anteriormente mencionados, siempre que sea posible y asegurando que la información aportada quede suficientemente clara.

Actividad propuesta 3.2

Accede a través de internet a la página web de la sede electrónica del catastro (www.sedecatastro.gob.es) y localiza el plano de zonificación y parcelación correspondiente a tu domicilio y a tu centro de estudios.

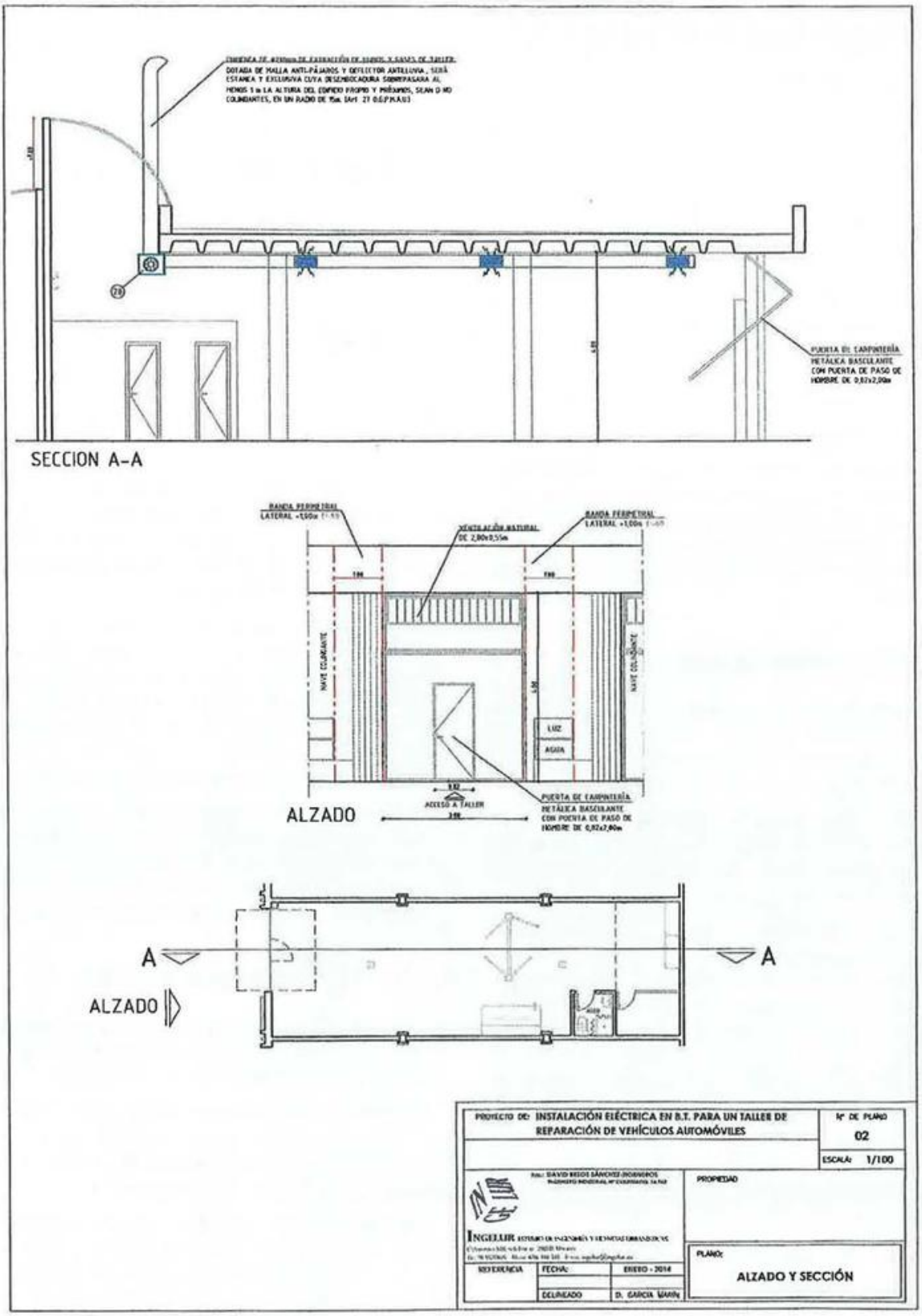


Figura 3.32. *Ejemplo de planos unificados de sección constructiva, mobiliario y maquinaria de una instalación industrial. (Cortesía de Ingelur.)*

3.4. Representación de los circuitos eléctricos

Los diferentes circuitos que componen y definen las características de una instalación eléctrica se representan sobre uno o varios planos en los que son detalladas las particularidades de los materiales y dispositivos presentes.

Para realizar la representación gráfica de dichos circuitos eléctricos se utilizan diferentes tipos de esquemas estandarizados, que básicamente se clasifican en tres grupos dependiendo de sus características, diseño y uso:

- Esquemas unifilares.
- Esquemas multifilares.
- Esquemas de principio.

Al representar gráficamente cualquier instalación eléctrica, es necesario que queden debidamente representados y reflejados todos los cuadros y armarios eléctricos presentes, así como los circuitos interiores, los conductores (indicando el número de cables y sus características), la aparamenta y los receptores.

3.4.1. Esquemas unifilares

Un esquema unifilar es la representación gráfica de una instalación eléctrica en la que cada circuito se representa por medio de una única línea, independientemente del número de conductores dispuestos en la realidad.

Para indicar la **cantidad de conductores** que discurren por cada línea del circuito se utilizan **pequeños segmentos oblicuos** que cruzan con la línea principal en cada tramo, uno por cada conductor.

Se trata de esquemas muy simples y fáciles de entender en los que se representan todos los elementos de manera unitaria. Los esquemas unifilares son idóneos para representar instalaciones eléctricas, sin embargo, no son muy utilizados para la representación de circuitos de automatismos, mando y control, dado el escaso detalle que ofrecen. En general, puede decirse que los esquemas unifilares son los más utilizados por los electricistas, puesto que resultan más claros y más fáciles de realizar e interpretar.

SABÍAS QUE

Los esquemas unifilares también se denominan *diagramas unifilares*. En la mayoría de los casos se caracterizan por tener una estructura en forma de árbol.

En ocasiones resulta necesario identificar en los esquemas unifilares a cada uno de los conductores que discurren por una determinada línea para evitar confusiones a la hora de llevar a cabo el montaje.

Figura 3.33. *Representación de los conductores de fase de un sistema trifásico.*

Figura 3.34. *Representación del conductor neutro (N).*

Figura 3.35. *Representación del conductor de protección (PE).*

Figura 3.36. *Representación del conductor neutro y el de protección unidos (PEN).*

El conductor de protección también puede ir representado en el esquema unifilar mediante una línea de trazos discontinuos paralela a la línea que representa los conductores activos, siempre que se indique expresamente su conexión con la instalación de puesta a tierra.

En cada uno de los circuitos representados en un esquema unifilar, debe indicarse (generalmente en la parte inferior del mismo) el elemento al que suministra energía. En este sentido puede tratarse de un receptor (por ejemplo un motor o una lámpara), de un tipo de aparamenta (por ejemplo una base de corriente o un equipo de medida), de un cuadro eléctrico secundario situado aguas abajo, etcétera.

Cada uno de los circuitos, además, debe ser identificado con un código o nombre que lo diferencie del resto. Es recomendable dejar reflejada la potencia real que se estime que va a demandar cada una de las líneas, la intensidad y las características de los conductores (longitud, tipo y sección).

3.4.2. Esquemas multifilares

En un esquema multifilar quedan **representadas todas las líneas** de cada circuito eléctrico, identificando debidamente el conductor neutro y cada una de las fases.

En este tipo de esquemas, además, todos los conductores del circuito son dibujados siguiendo aproximadamente el trazado de la realidad del montaje, lo que en ocasiones produce que las líneas se crucen entre sí.

Su uso tiene la finalidad de hacer más sencillo razonar el funcionamiento de un circuito o equipo, pero en ocasiones su interpretación puede llegar a ser muy laboriosa y su elaboración siempre será más compleja que en el caso de los esquemas unifilares.

La representación multifilar es muy utilizada en los esquemas relacionados con los **circuitos de fuerza y maniobra de los automatismos eléctricos**, donde es necesario conocer la posición o borne exacto en la que debe conectarse cada uno de los conductores.

SABÍAS QUE

Los esquemas multifilares también se denominan *esquemas funcionales*, cuando hacen referencia a circuitos de maniobra de automatismos eléctricos.

Los esquemas multifilares, en principio, parecen más comprensibles que los unifilares, pero presentan la desventaja de que pueden llegar a resultar confusos si los circuitos a representar son muy grandes, puesto que si no se realizan adecuadamente en un mismo plano podrían aparecer demasiadas líneas entrecruzadas.

En este tipo de esquemas generalmente no resulta necesario indicar algunos datos que eran característicos de los esquemas unifilares, como por ejemplo la longitud de los conductores representados; sin embargo, suelen incorporar otra serie de parámetros y anotaciones como el marcado de los bornes y componentes, explicaciones del funcionamiento, o referencias cruzadas.

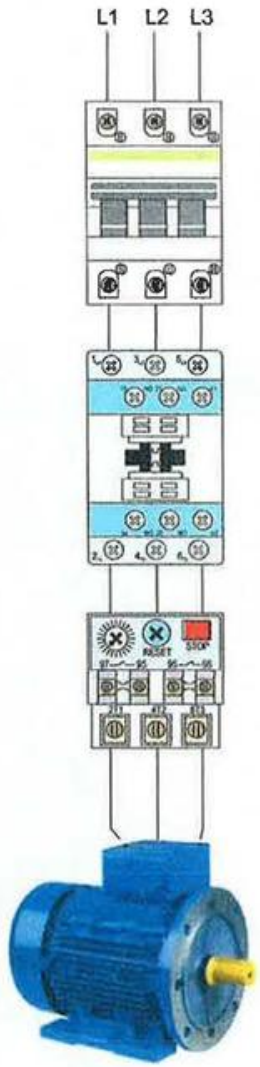


Figura 3.37. *Circuito trifásico protegido por interruptor automático y relé térmico que alimenta un motor controlador por contactor.*

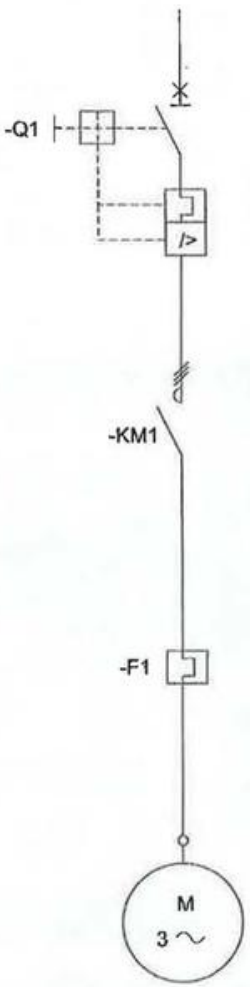


Figura 3.38. *Esquema unifilar del circuito.*

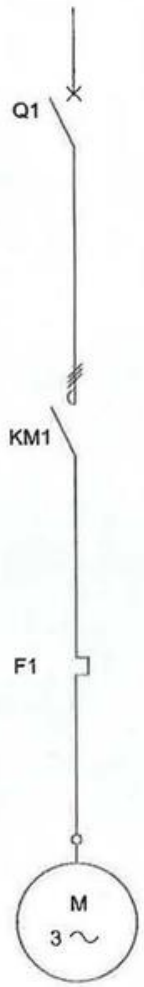


Figura 3.39. *Esquema unifilar simplificado del circuito.*

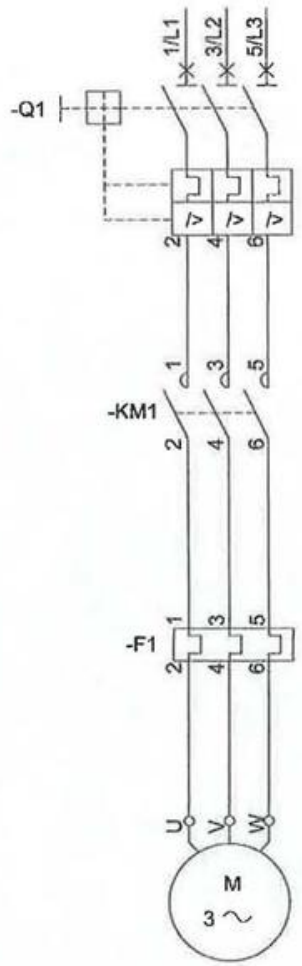


Figura 3.40. *Esquema multifilar del circuito.*

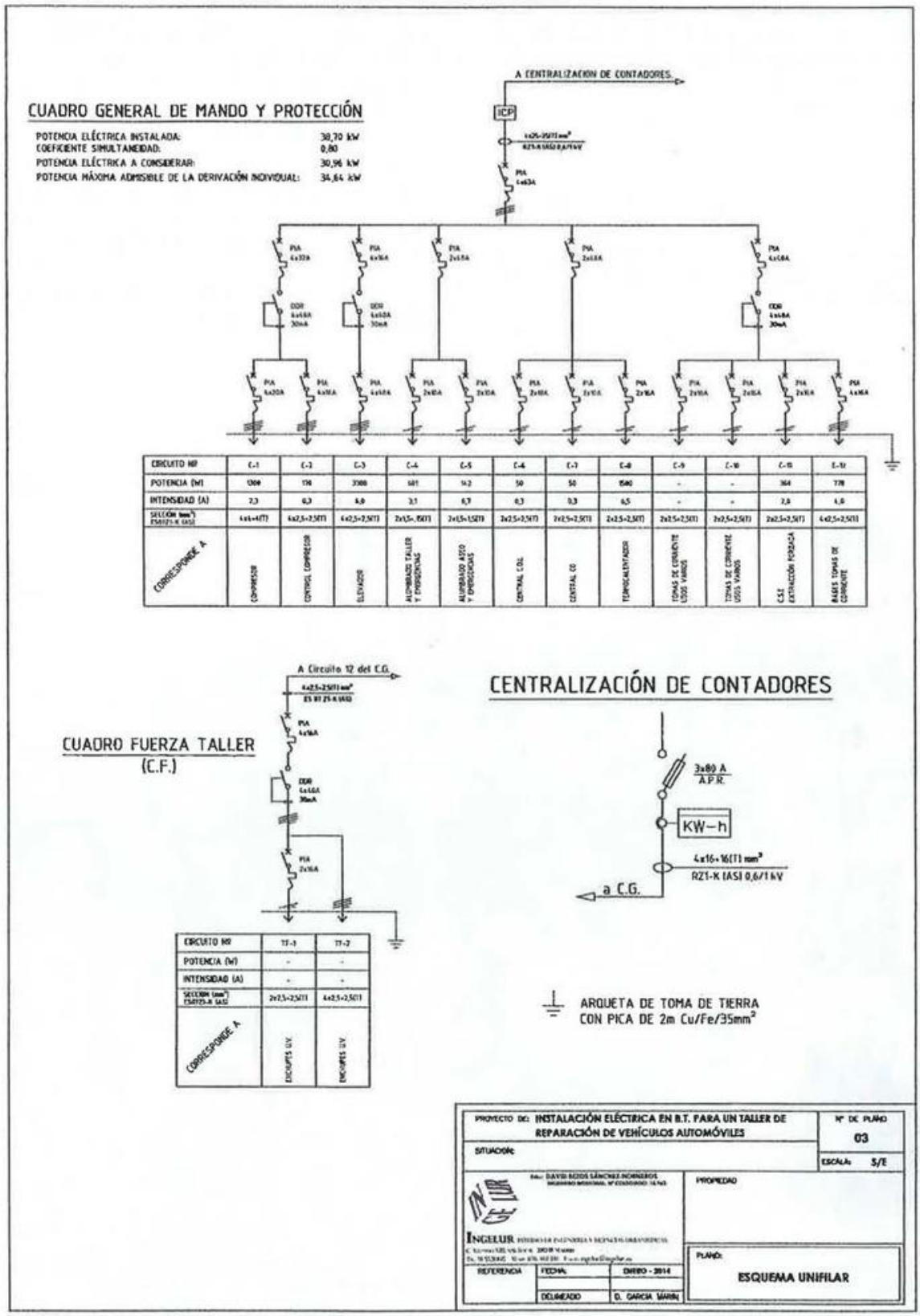


Figura 3.41. *Ejemplo del esquema unifilar que representa la instalación eléctrica de fuerza de una instalación industrial. (Cortesía de Ingelur.)*

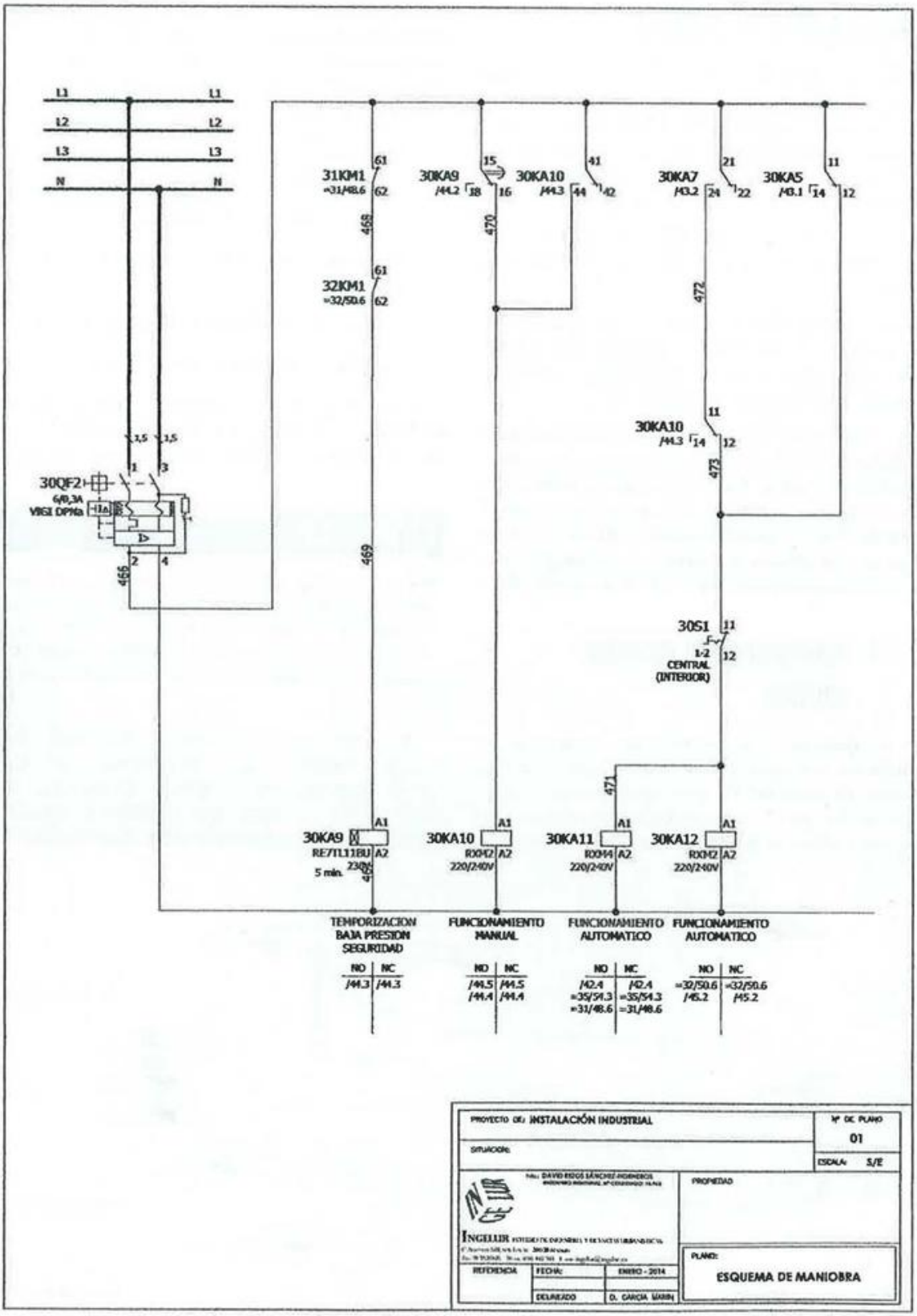


Figura 3.42. *Esquema multifilar correspondiente al circuito de maniobra de un automatismo industrial. (Cortesía de Ingelur.)*

3.4.3. Esquemas de principio

Los esquemas de principio, también conocidos como *diagramas de bloques*, se elaboran en proyectos de instalaciones de grandes dimensiones, donde puede resultar necesario dar una orientación previa de la distribución de los circuitos del sistema. Son muy comunes, por tanto, en los proyectos eléctricos de instalaciones industriales.

Este tipo de esquemas presentan una estructura arborescente y su finalidad puede estar orientada a la **función** o al **emplazamiento**.

Son utilizados generalmente para mostrar en un único documento gráfico la ubicación de todos los cuadros eléctricos de una edificación; estos serán detallados en esquemas posteriores. (Ver ejemplo en Figura 3.43.)

La unión entre los distintos bloques se realiza utilizando una única línea, indicando que hay una conexión eléctrica. Pueden representarse tantas líneas como sea necesario, dependiendo del tipo de suministro (alimentación ordinaria, alimentación de socorro, alimentación del SAI, etc.) pero no se hace referencia al número de conductores en ningún caso, ya que se busca una interpretación rápida de la instalación.

3.4.4. Interpretación de esquemas eléctricos

Junto a los componentes y dispositivos que forman los esquemas eléctricos unifilares y multifilares, suele incluirse cierta información adicional de gran utilidad para el instalador y mantenedor, puesto que se le indica, de manera muy precisa, las características fundamentales de la instalación.

Tal como ya se ha definido, el esquema de tipo unifilar representa el contenido mínimo, mientras que el esquema de tipo multifilar es más completo pero más difícil de interpretar y representar. En ambos casos deben quedar definidos, como mínimo, los siguientes parámetros:

- Sección, material y características técnicas de los conductores.
- Dimensiones de las canalizaciones.
- Especificaciones características de los dispositivos de protección.
- Características eléctricas de cada receptor.
- Nombre y longitud de los circuitos.

En la práctica, esta información puede ofrecerse sobre las líneas eléctricas y junto a los dispositivos, bajo los propios circuitos o mediante tablas situadas en el plano.

RECUERDA

En los esquemas eléctricos, los conductores de cobre se representan por las letras ***Cu***, y los conductores de aluminio por las letras ***Al***. En caso de que no quede definido este factor, se entenderá por defecto que los conductores son de cobre.

Interpretar adecuadamente los esquemas y planos y revisarlos adecuadamente es fundamental antes de comenzar con la preinstalación y montaje de cualquier instalación eléctrica. En la Figura 3.44 se muestran dos ejemplos de interpretación del contenido de un esquema unifilar:

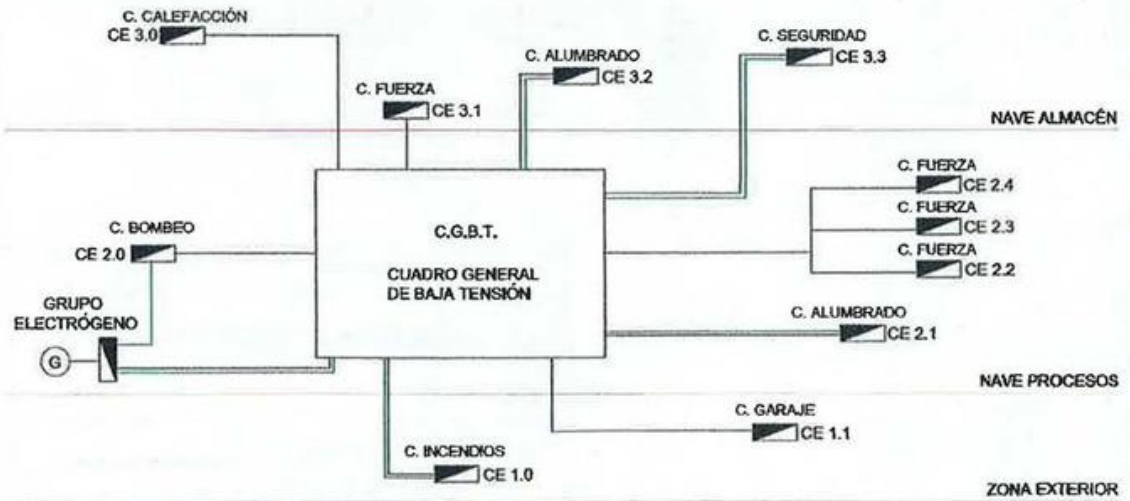


Figura 3.43. *Representación de un esquema de principio en el que se muestran todos los cuadros eléctricos de una industria, ordenados por zonas.*

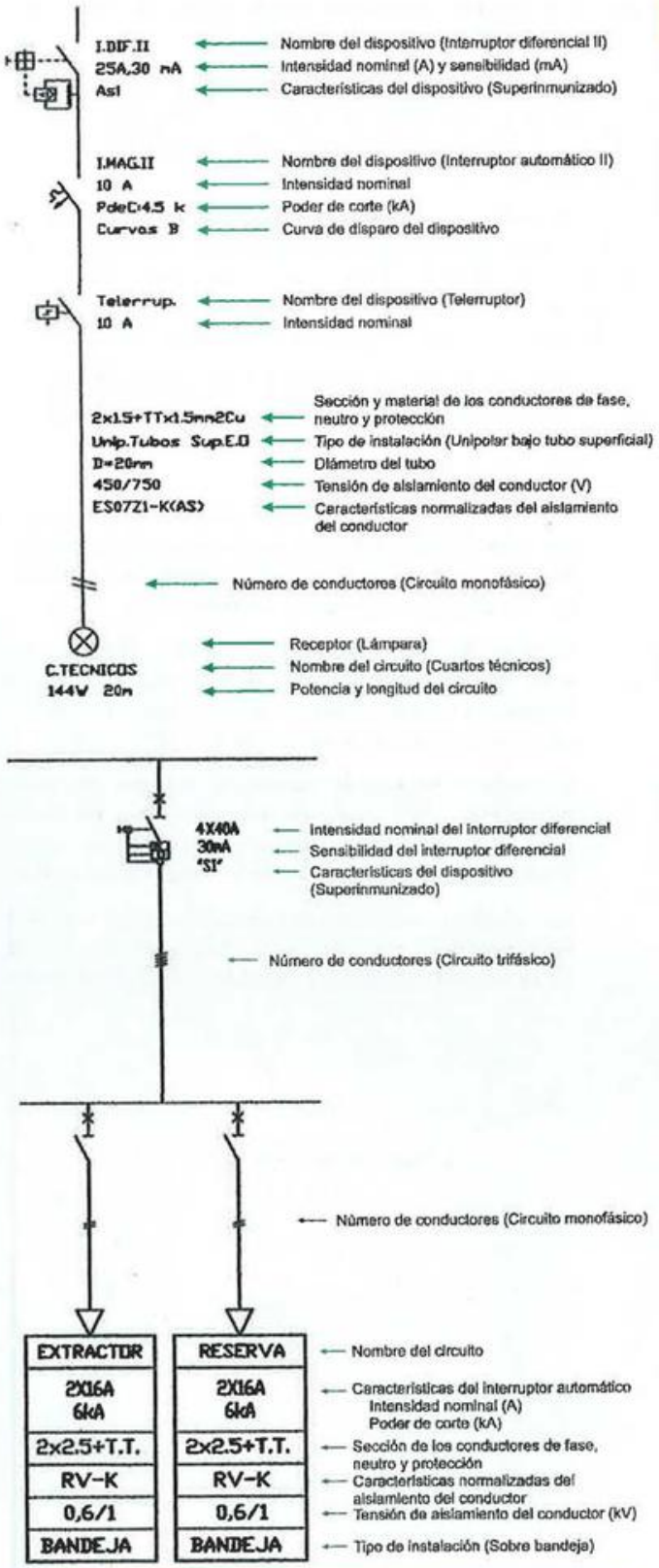


Figura 3.44. *Interpretación de los datos proporcionados por diferentes esquemas unifilares.*

Actividad propuesta 3.3

Analiza el esquema unifilar mostrado en la Figura 3.41, y responde a las siguientes preguntas:

a) ¿Qué tipo de instalación está representada?

b) ¿De cuántos cuadros consta la instalación?

c) ¿Es un sistema monofásico o trifásico? Justifica la respuesta.

d) Enumera los circuitos monofásicos y trifásicos de la instalación.

e) ¿Qué dispositivos eléctricos de aparamenta identificas en el plano?

f) ¿Cuál es la sección de la línea del circuito 9?

g) ¿Qué sensibilidad tiene el interruptor diferencial del circuito 3?

h) ¿Cuál es el nivel de aislamiento de la derivación individual?

i) ¿Qué potencia máxima admisible tiene el circuito número 10? ¿Qué receptor alimenta?

j) ¿Cuál es la intensidad nominal del interruptor automático del circuito 2?

k) ¿Qué significa que la instalación tenga un coeficiente de simultaneidad de 0,8?

3.5. Planos representativos de las instalaciones electrotécnicas

Para conocer la posición exacta de los diferentes mecanismos, cajas, canalizaciones, cuadros, aparamenta y, en general, de todos los componentes eléctricos de una instalación, es necesario utilizar planos de planta y planos de trazado, los cuales pueden ser orientativos o estar acotados.

Los planos representativos más comunes de las instalaciones eléctricas industriales son los siguientes:

- Planos de planta de la instalación eléctrica de alumbrado.
- Planos de planta de la instalación eléctrica de fuerza.
- Plano del trazado de las canalizaciones.
- Planos de las vías de evacuación.
- Plano de la red equipotencial de tierras.
- Plano de detalle.

3.5.1. Planos de planta de la instalación eléctrica

En cualquier proyecto electrotécnico, junto con los esquemas unifilares o multifilares, es indispensable incluir una o varias representaciones en planta del lugar donde se va a realizar la instalación indicando la posición exacta de cada uno de los mecanismos eléctricos y de la aparamenta, de manera que sea posible reconocer su ubicación real. Esta documentación facilita enormemente las tareas de mantenimiento de la instalación y asegura que el montaje será realizado de manera exacta por el instalador.

Básicamente, se diferencian dos modelos distintos de planos de planta en función de los dispositivos eléctricos representados en ellos: fuerza y alumbrado.

- **Plano de planta de la instalación eléctrica de fuerza:** muestra la ubicación exacta de las bases de toma de corriente, cuadros eléctricos, maquinaria eléctrica, etc.
- **Plano de planta de la instalación eléctrica de alumbrado:** muestra la ubicación exacta de las luminarias, apliques, interruptores, pulsadores, conmutadores, equipos autónomos de alumbrado de emergencia, etc.

SABÍAS QUE

Para facilitar la interpretación de los planos y esquemas eléctricos, es muy habitual en la práctica incluir una leyenda de la simbología utilizada, sobre todo cuando esta no se adapte a la normativa establecida o cuando por las dimensiones de la instalación se utilice un gran número de símbolos gráficos.

Los planos de planta de la instalación eléctrica de fuerza y de alumbrado podrán combinarse en un mismo documento gráfico siempre que el número de dispositivos no sea muy elevado y se garantice que la información aportada queda suficientemente clara (Figura 3.46).

Asimismo, en los planos de planta de alumbrado, es recomendable incluir líneas continuas o discontinuas que indiquen qué receptores están asociados a cada uno de los dispositivos de maniobra.

Debe existir un plano de planta por cada uno de los pisos de la edificación, incluyendo sótanos, cubierta e incluso zonas exteriores y terrazas, siempre que se dispongan equipos eléctricos en estas ubicaciones.

3.5.2. Trazado de las canalizaciones

Otro tipo de esquema eléctrico, de gran utilidad para el instalador electricista, es aquel en el que se indica el trazado por el cual deben discurrir las canalizaciones eléctricas por las que se realiza el tendido del cableado.

Dichas canalizaciones parten siempre del cuadro general y recorren de manera empotrada o superficial los muros, suelos o techos de la edificación comunicando las cajas de registro, derivación y mecanismo.

El trazado de las canalizaciones puede representarse en dos formatos, planta y perspectiva tridimensional. Puede quedar indicado, además, el tipo y características de canalización utilizadas en cada caso, sea tubo de plástico, tubo metálico, canal protectora, bandeja perforada, bandeja de rejilla, etc.

- **Trazado de las canalizaciones en planta:** da una visión orientativa del recorrido de las canalizaciones y muy aproximada de la ubicación de las cajas de registro y derivación.

  Este tipo de plano es muy útil para calcular la longitud total del tubo protector que será necesario utilizar durante la preinstalación. Deben quedar reflejadas todas las estancias y zonas de la edificación.

  El plano del trazado de las canalizaciones suele combinarse con los planos de planta de la instalación eléctrica de fuerza y alumbrado para ahorrar espacio y simplificar el número de documentos gráficos del proyecto.

- **Trazado de las canalizaciones en perspectiva tridimensional (3D):** indica de manera exacta, mediante cotas, el recorrido de los tubos y la posición de las cajas de registro y mecanismos de la instalación eléctrica.

  Los planos y esquemas representados en 3D son muy útiles para conocer las distancias exactas de ubicación de los dispositivos respecto al suelo, las paredes o el techo.

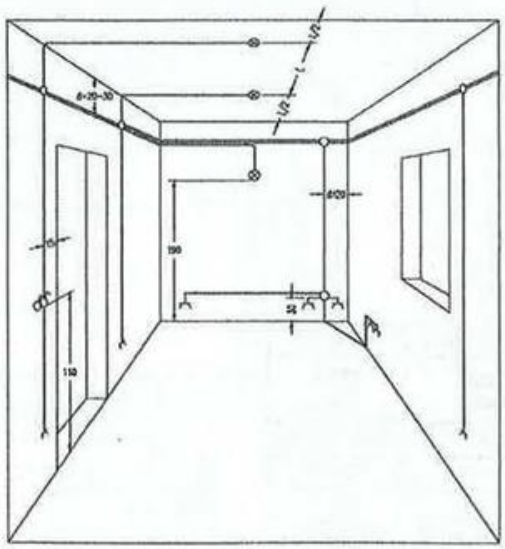


Figura 3.45. *Plano acotado del trazado de las canalizaciones en 3D. Cotas en centímetros.*

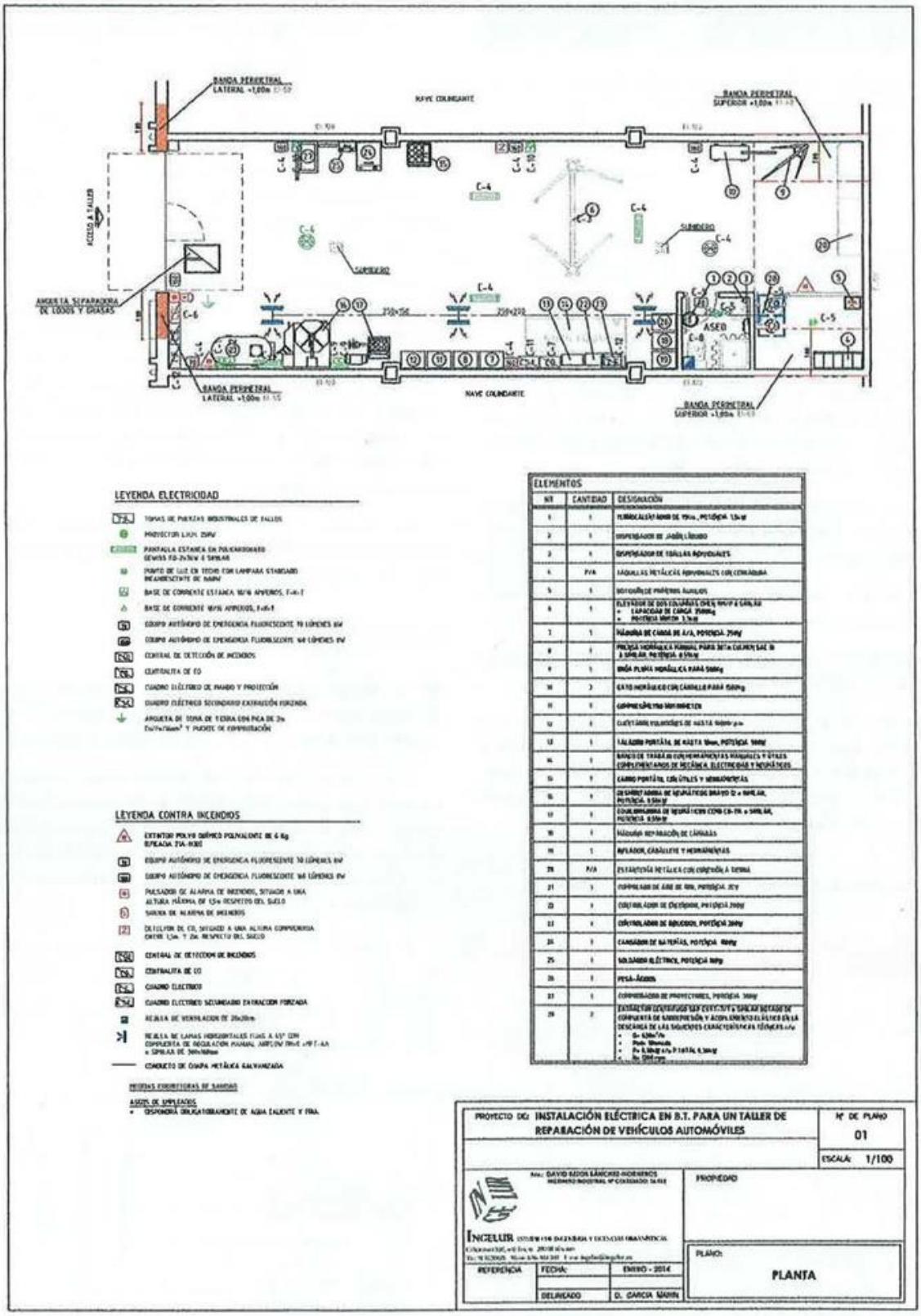


Figura 3.46. *Plano de planta de una industria, en el que se incluyen los equipos e instalaciones eléctricas de alumbrado y fuerza, así como algunos elementos de la instalación contra incendios. (Cortesía de Ingelur.)*

RECUERDA

La ejecución práctica del trazado de las canalizaciones en una edificación se hará siempre siguiendo líneas verticales y horizontales o paralelas a las aristas de las paredes, del techo y del suelo.

3.5.3. Planos de las vías de evacuación

El plano de evacuación forma parte del plan de emergencia. Es un plano que se sitúa en un lugar de tránsito, visible para todos los usuarios del edificio. Debe representar fielmente la planta del edificio, y con los suficientes detalles para que cualquier persona pueda interpretarlo y comprenderlo de manera rápida y sencilla. En él se indican los datos necesarios para una evacuación rápida y eficaz:

- Posición en la que se encuentra el usuario con respecto al plano, "usted está aquí", y la posición del edificio con respecto a las calles que le rodean.
- Rutas de escape. Generalmente se marca con flechas la ruta más rápida a seguir para abandonar el edificio.
- Vías de evacuación. Son las salidas de emergencia en las que desembocan las rutas de escape.
- Dispositivos de ayuda en caso de emergencia. Se muestran todos los dispositivos que es necesario ubicar en caso de una emergencia, como puedan ser: extintores, luces de emergencia, boca de incendio, detectores de humo, llaves de corte de gas y electricidad.

Tabla 3.3. Simbología asociada a los planos de las vías de evaluación.

Significado	Símbolo	Significado	Símbolo
Vía primaria de evaluación (principal)		Vía secundaria de evacuación (alternativa)	
Sentido final en vía de evacuación		Sentido de evacuación	

SABÍAS QUE

La legislación vigente establece que el recorrido máximo de la vía de evacuación de mayor longitud en un local de pública concurrencia no puede ser superior a 25 metros.

3.5.4. Plano de la red equipotencial de tierras

Este plano es requerido en instalaciones que deben poseer una red equipotencial de tierras debido a sus características eléctricas y particularidades de uso. Es imprescindible en instalaciones en las que existe contacto directo de las personas con equipos metálicos que se encuentran en las proximidades de elementos conductores.

Es por este motivo que todas las masas metálicas deben estar conectadas a tierra correctamente formando una **red equipotencial** en forma de **anillo** o **mallazo**. Para realizar la unión de las distintas masas metálicas de la instalación de manera eficiente puede ser necesario realizar este tipo de plano, de manera que el instalador pueda ubicarlas correctamente en la práctica y para que en futuros trabajos de mantenimiento se tenga conocimiento de la ubicación de esta red equipotencial.

Es necesario indicar el tipo de red usada, todos los equipos que se encuentren conectados a la red y las características de los conductores utilizados.

3.5.5. Planos de detalle

En ocasiones puede resultar muy útil incluir el plano de una parte de la instalación o de parte del equipamiento a mayor escala que el resto de la documentación gráfica existente.

Los planos de detalle únicamente serán necesarios cuando hay partes constructivas de la instalación eléctrica que el proyectista considera que deben ser ampliadas, ya que con esto se consigue mayor claridad, permitiendo un mejor análisis de las conexiones y facilitando su montaje e instalación.

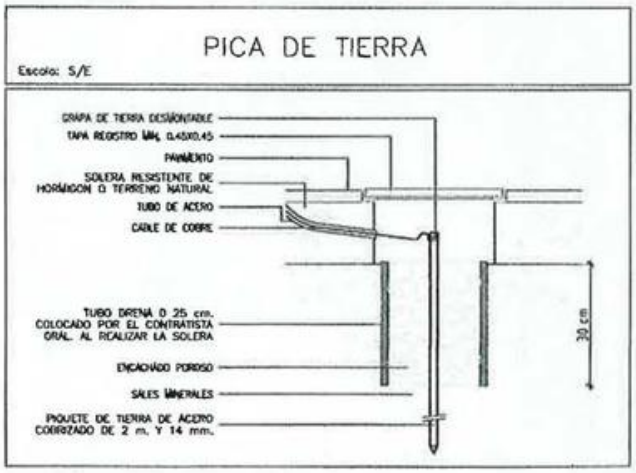


Figura 3.47. *Ejemplo del plano de detalle para la instalación de una pica de tierra en arqueta.*

Actividades de comprobación

3.1. ¿Cuál de los siguientes grosores de línea no se encuentra normalizado?

a) 0,35.

b) 0,75.

c) 1,4.

3.2. Un objeto representado con escala 2:1:

a) Está representado al natural.

b) Está representado de manera reducida con respecto a la realidad.

c) Está representado de manera ampliada con respecto a la realidad.

3.3. Selecciona la opción correcta. Durante un proceso de acotación, las líneas de referencia:

a) Con forma de flecha acaban en contorno o arista.

b) Con forma de punto acaban en otra línea.

c) Sin flecha ni punto acaban en el interior de una pieza.

3.4. La perspectiva que se basa en tres ejes de coordenadas ortogonales en la que sus proyecciones forman un ángulo de 120 grados entre ellos sobre el plano, y todas las dimensiones de las piezas son paralelas a estos ejes representados a la misma escala se denomina:

a) Isométrica.

b) Caballera.

c) Diédrica.

3.5. ¿Cuál debe ser la anchura mínima del margen de archivo en un plano o documento gráfico que va a ser archivado?

a) 10 mm.

b) 20 mm.

c) 40 mm.

3.6. ¿Qué expresión se utiliza para indicar que los símbolos en un plano están representados de manera que cualquier persona es capaz de interpretarlos adecuadamente?

a) Se dice que los símbolos están identificados.

b) Se dice que los símbolos están autentificados.

c) Se dice que los símbolos están normalizados.

3.7. ¿Es posible unificar en un solo documento el plano de planta de la instalación eléctrica de alumbrado y el plano de planta de la instalación eléctrica de fuerza?

a) No, en ningún caso.

b) Sí, siempre que la información quede clara.

c) Sí, pero exclusivamente en planos de planta de cubierta y exteriores.

3.8. ¿En qué tipo de planos es recomendable incluir líneas continuas o discontinuas que indiquen qué receptores están asociados a qué elementos de maniobra?

a) Planos unifilares.

b) Planos de planta.

c) Planos asociativos.

3.9. A los esquemas multifilares también se los llama:

a) Esquemas funcionales.

b) Esquemas ramificados.

c) Esquemas compuestos.

3.10. ¿Cuál de las siguientes indicaciones, no puede ser considerada como una norma de acotación?

a) Han de indicarse siempre más cotas de las imprescindibles, para que la interpretación del objeto o dibujo quede lo suficientemente clara.

b) Los dibujos se acotan según su función, fabricación o verificación.

c) Cada elemento se acota una sola vez en el dibujo y siempre se han de colocar sobre la vista que mejor represente el elemento correspondiente.

3.11. ¿Cuáles son las dimensiones establecidas de un papel con formato A4?

a) 210 × 297 cm.

b) 210 × 297 mm.

c) 290 × 217 mm.

3.12. Los planos utilizados cuando hay partes constructivas de una instalación eléctrica que deben ser ampliadas para permitir un mejor análisis de las conexiones y facilitar su montaje e instalación se denominan:

a) Planos específicos.

b) Planos de detalle.

c) Planos de conjunto.

Actividades de aplicación

3.1. Enumera y representa los diferentes tipos de líneas que conoces según su trazo.

3.2. Define brevemente los siguientes términos: boceto técnico, croquis, plano y esquema, haciendo referencia a las principales diferencias entre los mismos.

3.3. Cita los patrones a tener en cuenta para obtener dibujos de forma rápida y que sean legibles a la hora de realizar un croquis.

3.4. ¿Qué es la línea de cota? ¿Qué la diferencia de la línea auxiliar de cota? ¿Qué indicaciones deben seguirse a la hora de realizar líneas de cota?

3.5. Explica las diferentes metodologías que pueden ser llevadas a cabo a la hora de acotar radios y diámetros.

3.6. ¿Cuáles son, generalmente, las vistas diédricas mínimas necesarias para definir un objeto?

3.7. Enumera los diferentes tipos de formato de plano existentes, indicado sus dimensiones asociadas.

3.8. Explica qué utilidad pueden tener los recuadros exteriores alfanuméricos en un plano.

3.9. ¿Qué es un esquema unifilar? ¿Qué es un esquema multifilar? ¿Cuáles son las principales diferencias entre ambos? ¿Cuándo suele utilizarse cada uno de ellos?

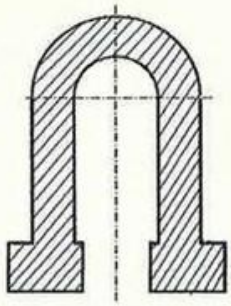
3.10. Cita los datos técnicos que deben aparecer en un esquema unifilar para que este sea perfectamente comprensible.

3.11. Define qué es un esquema de principio y pon varios ejemplos de instalaciones a las que pueden estar asociados.

3.12. Enumera los diferentes tipos de planos representativos de las instalaciones electrotécnicas, definiendo brevemente sus características básicas.

Casos prácticos

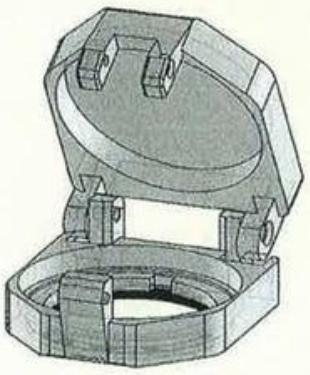
3.1. Realiza dos croquis de la siguiente figura, el primero a escala natural y el segundo con una escala de ampliación 3:1.



3.2. Dada la siguiente pieza en perspectiva que representa la tapa de una base de toma de corriente industrial:

a) Representa las vistas de la figura diédrica. Para definirla será necesario representar el alzado, el perfil izquierdo, el perfil derecho y el alzado posterior.

b) Acota la pieza a partir de las vistas que has representado.



3.3. Dada la instalación eléctrica correspondiente al cuadro secundario de una industria con las siguientes características, y conociendo la simbología de los componentes de los circuitos eléctricos que ya estudiaste en la Unidad 2, realiza las siguientes actividades:

a) Representa el esquema unifilar del cuadro. La distribución e intensidad nominal de los interruptores diferenciales es libre, pero debe estar debidamente justificada.

b) Representa el plano de detalle del cuadro general de mando y protección (CGMP) con sus protecciones correspondientes.

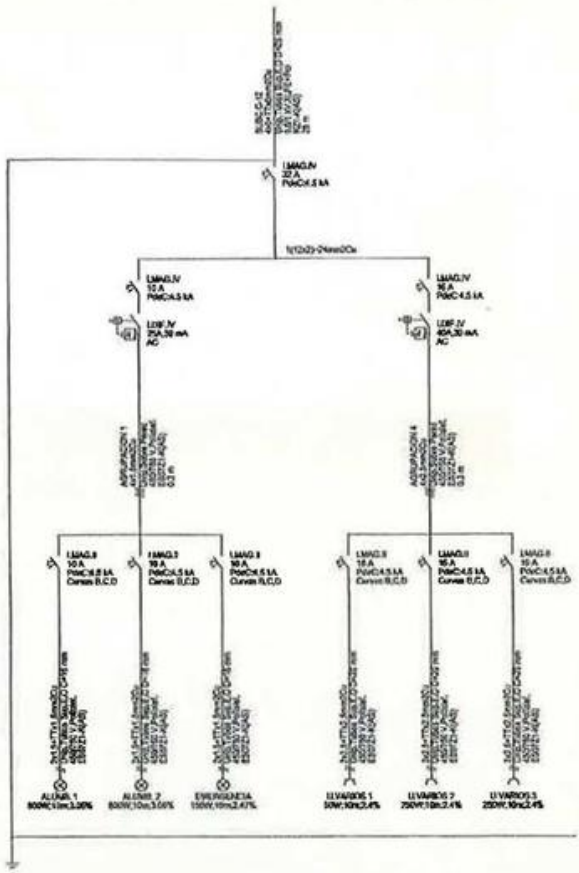
Características del cuadro:

- Interruptor general de 4x40 A.
- Dispone de un equipo de medida para suministro trifásico y hueco para el ICP.
- Circuitos interiores:

Número de circuito	Descripción	Protección
Circuitos 1-6	Alumbrado ordinario	Interruptor automático de 2x10 A
Circuitos 7-8	Alumbrado emergencia	Interruptor automático de 2x10 A
Circuito 9	Central de detección de incendios	Interruptor automático de 2x10 A
Circuito 10	Central de detección de CO	Interruptor automático de 2x10 A
Circuito 11	Tomas de corriente taller	Interruptor automático de 2x16 A
Circuito 12	Puerta de acceso eléctrica	Interruptor automático de 2x16 A
Circuito 13	Bombas de achique	Interruptor automático de 4x16 A
Circuito 14	Ascensor	Interruptor automático de 4x25 A
Circuitos 15-16	Sistema de extracción	Interruptor automático de 4x16 A

- Todos los circuitos interiores se encuentran protegidos con cinco interruptores diferenciales de alta sensibilidad, excepto el del ascensor, que es de 300 mA.

3.4. Completa las tres siguientes tablas expuestas, a partir de los datos que obtengas al interpretar el siguiente esquema unifilar:



RELACIÓN DE LOS RECEPTORES Y POTENCIA		
Circuito	**Denominación/ descripción**	**Potencia nominal (kW)**

CARACTERÍSTICAS DE LAS LÍNEAS Y CIRCUITOS				
Denominación/esquema unifilar/circuito	**Potencia prevista (kW)**	**Longitud (m)**	**Dispositivo de protección I_n (A)**	**Material conductor /sección (mm²)**

TIPOS DE CANALIZACIONES A EMPLEAR		
Tipo	**Tipo de cables**	**Sistema de instalación**

3.5. Realiza el esquema unifilar correspondiente a la instalación eléctrica de un almacén que consta de:

- Un equipo de medida.
- Un interruptor general de 4x40 A.
- Un interruptor diferencial general de 4x40 A con sensibilidad de 30 mA.
- Tres circuitos interiores monofásicos de las siguientes características:
  - — Circuito 1: tomas de corriente para usos varios protegido por un interruptor automático de 2x16 A.
  - — Circuito 2: alumbrado ordinario protegido por un interruptor automático de 2x10 A.
  - — Circuito 3: alumbrado de emergencia protegido por un interruptor automático de 2x10 A.

3.6. Indica el número de papeles de tamaño A4 que serían necesarios para simular un plano tamaño A0. Coge el número de papeles A4 que has calculado y procede a unir sus extremos mediante cinta adhesiva para simular el plano A0. Una vez tengas preparado el papel A0 mide sus dimensiones para comprobar si son las adecuadas.

3.7. Realiza el plegado normalizado del plano en tamaño A0 que has elaborado en la actividad anterior, siguiendo las indicaciones y la secuencia en las dobleces estudiadas a lo largo de la unidad.

Realiza, asimismo, el plegado normalizado para una lámina de formato A3, marcando previamente la ubicación del cuadro de rotulación.

Cuadros eléctricos para automatismos industriales

4

Los cuadros eléctricos son los componentes de la instalación eléctrica donde se instala la aparamenta, es decir, los dispositivos de corte, protección, maniobra y control, así como las conexiones mecánicas de las canalizaciones en cuyo interior discurren los cables de entrada y salida de circuitos. Los cuadros de automatismos industriales permiten visualizar en su puerta el estado de diferentes partes de la instalación, cuyo objetivo principal es el conformado de una estructura externa que envuelve y protege a todos estos elementos mediante una envolvente.

Contenidos

- 4.1. Concepto de cuadro eléctrico y normativa de aplicación
- 4.2. Niveles de protección: códigos IP e IK
- 4.3. Separación interna de cuadros eléctricos
- 4.4. Tipología de cuadros y armarios eléctricos
- 4.5. Elementos y componentes de los cuadros eléctricos
- 4.6. Ventilación, calefacción y deshumidificación de cuadros eléctricos
- 4.7. Ensamblado de cuadros para automatismos industriales

Objetivos

- Dar a conocer las particularidades de los cuadros y los componentes de los que pueden estar formados.
- Definir los requisitos de los fabricantes de cuadros eléctricos.
- Reconocer los niveles de protección que pueden tener las envolventes.
- Identificar los diferentes cuadros existentes en el mercado y sus aplicaciones más comunes.
- Analizar el comportamiento térmico interior de los cuadros y métodos de montaje.

4.1. Concepto de cuadro eléctrico y normativa de aplicación

Un cuadro eléctrico es un elemento de la instalación eléctrica que reúne varias funcionalidades según el uso y lugar de la instalación, tales como:

- La **protección de los elementos ubicados en su interior**, tanto del polvo, del agua y de los golpes.
- Ha de **facilitar el mantenimiento** de los componentes y por tanto de la instalación, debiéndose poder desmontar las tapas fácilmente a la vez que ofrecer la protección mínima necesaria para que cualquier usuario no tenga acceso a las partes metálicas en tensión y por tanto evitar contactos directos.
- **Su tamaño ha de ser el adecuado** al número de elementos que se desee instalar, para efectuar las conexiones adecuadamente, correcta señalización de los cuadros, ventilación, etc., entre otros factores.

Los cuadros eléctricos de baja tensión trabajan en tensiones nominales no superiores a 1.000 V en redes de corriente alterna y 1.500 V en corriente continua.

Figura 4.1. *Cuadro eléctrico para automatismo industrial. (Cortesía de Siemens.)*

En un cuadro eléctrico, se diferencian diferentes componentes:

- **Caja o envolvente:** su función es servir de **soporte y proteger** mecánicamente los elementos que contiene en su interior.
- **Componentes internos:** tales como la aparamenta, conexionado interno y terminales de los circuitos de entrada y salida para el correcto funcionamiento de la instalación.

Todo cuadro eléctrico debe cumplir todos los **requisitos de seguridad**, realizando el cometido para el que ha sido diseñado.

En el interior de los cuadros, dependiendo de sus dimensiones, existen accesorios para:

- **Guiar** el cableado con canaletas, abrazaderas y canalizaciones adecuadas de llegada de conductores.
- **Ventilar** de forma natural o forzada los componentes internos del cuadro según sea la cantidad de calor disipada debido a la concentración de elementos montados en su interior.
- **Disponer de elementos auxiliares** como alumbrado de emergencia en el interior de cuadros de grandes dimensiones.

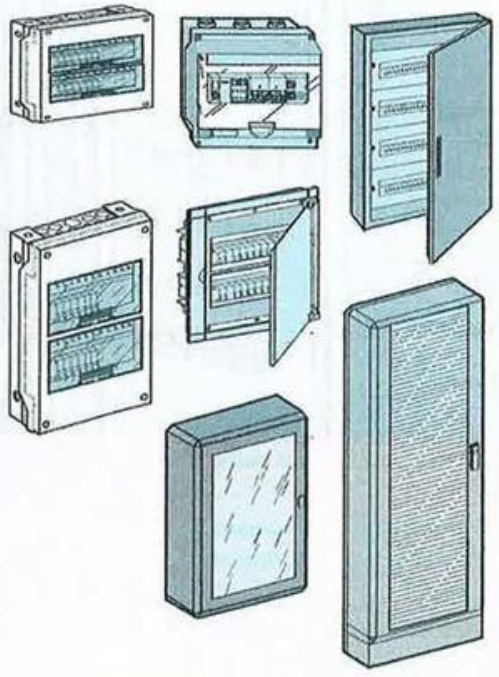


Figura 4.2 . *Diversas tipologías de cuadros eléctricos para distintas aplicaciones en automatismos.*

Para cualquier fabricante que diseña y construye sus cuadros y que desea introducirlos en el mercado, es requi-

sito indispensable que cumpla las normas vigentes, como la norma internacional IEC 60364 que especifica los mínimos para cualquier tipo de instalación eléctrica.

En España, se dispone de la norma UNE EN 61439, equivalente a la IEC 61439, que describe:

- Parte 1: Reglas generales.
- Parte 2: Conjuntos de aparamenta de potencia.
- Parte 3: Cuadros de distribución destinados a ser operados por personal no cualificado.
- Parte 4: Requisitos particulares para conjuntos para obras.
- Parte 5: Distribución pública.
- Parte 6: Canalizaciones prefabricadas.

Actualmente, con la nueva norma, se concreta la labor del **fabricante original** que es el que realiza el **diseño inicial** así como la **verificación del cuadro,** y **fabricante del cuadro** es quien lo ejecuta físicamente, es decir, tras recibir los componentes, procede a su **ensamblaje y montaje del cableado según las directrices del fabricante original**. Se permite que alguna de las etapas de montaje se realice en obra, fuera del taller o laboratorio del fabricante, pero siempre cumpliendo las instrucciones del fabricante original.

Los instaladores y cuadristas son los fabricantes finales del cuadro, que utilizan los *kits* que venden los fabricantes originales para que monten los cuadros según los necesiten.

SABÍAS QUE

El REBT nombra la norma UNE 60439 (Conjuntos de aparamenta de baja tensión), pero a partir del 31 de octubre de 2014, queda sustituida por la norma UNE 61439.

4.2. Niveles de protección: códigos IP e IK

Dado que hay agentes externos que pueden dañar los equipos de automatismos industriales como el polvo, el agua, los impactos o choques que son perjudiciales para las envolventes de los cuadros y canalizaciones eléctricas, y en general otros tipos de elementos eléctricos, es necesario proporcionar cierto grado de protección mínimo según el lugar de instalación.

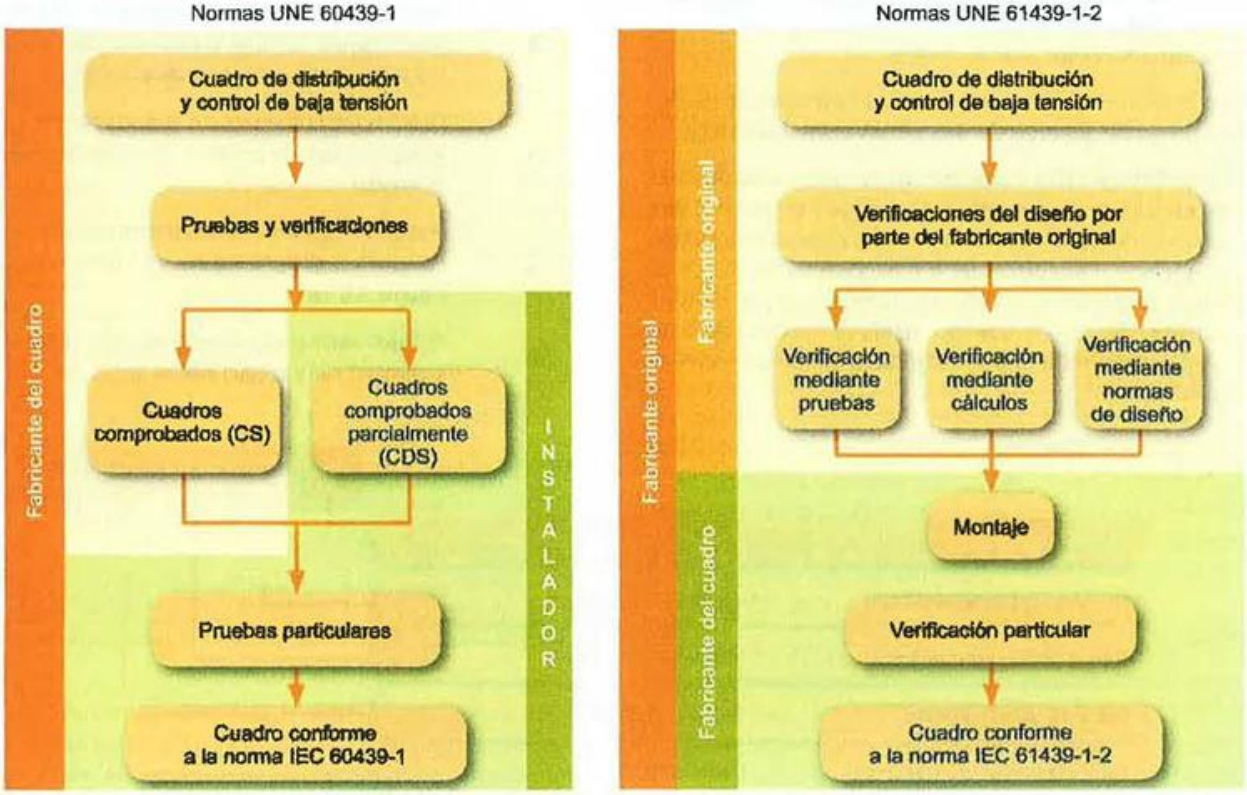


Figura 4.3. *Diferencias entre la norma UNE 60439-1 y la moderna UNE61439-1-2.*

Para ello, existen unos códigos internacionales que permiten identificar los diferentes niveles de protección tanto para el acceso de sólidos extraños y penetración de agua denominado IP, y otro código denominado IK que permite delimitar los diferentes grados de protección contra los daños ocasionados por impactos mecánicos, ensayados mediante métodos normalizados.

Normalmente, aunque no necesariamente siempre, cuanto mayor sea el índice protección mayor es el coste del producto, por lo que los fabricantes crean sus productos para que la relación calidad/precio sea óptima y competitiva para cualquier aplicación.

4.2.1. Grado de protección IP de envolventes

El código de protección IP (*International Protection*) está unificado internacionalmente y sirve para la descripción de los grados de protección de las envolventes contra la penetración de cuerpos sólidos y la entrada peligrosa de líquidos.

Se ha de tener en cuenta que hasta que la envolvente y todos sus componentes internos no están totalmente montados, instalados y en funcionamiento, no se puede determinar el grado de protección, ya que el instalador es el responsable del grado de protección que asegura el fabricante, al tener que tender los cables, montar los elementos auxiliares (como interruptores, pulsadores, equipos de medida y similares) como este le indica.

Para denominar el índice o grado de protección, se determina por el **IP** seguido **de dos cifras características.**

- La **primera cifra característica** indica simultáneamente el tamaño de entrada de cuerpos extraños y una protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas. Esta cifra **(de 0 a 6)**, cuanto mayor es su valor, mayor es la protección contra cuerpos sólidos extraños de menor tamaño, hasta el máximo de 6 en la que está totalmente protegida la envolvente contra sólidos.
- La **segunda cifra característica** corresponde al grado de protección de las envolventes de los equipos eléctricos contra los efectos perjudiciales de la penetración del agua. La segunda cifra **(de 0 a 8)** indica que no tiene protección (0), caída de agua en forma vertical y lluvia fina (1 a 3), proyecciones y chorros de agua (4 a 6) e inmersiones (7 y 8).

Además, se pueden añadir a continuación y **opcionalmente** una o dos letras:

- **Letra adicional:** cuando la protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas es mejor que la primera cifra característica, o cuando esta ha sido sustituida por una X, se representa con las letras A, B, C, D correspondiéndose con las cuatro primeras de la primera cifra característica: 1, 2, 3 y 4. Por el contrario, estas letras aclaran la accesibilidad de determinados objetos o partes del cuerpo a partes peligrosas en el interior de la envolvente.

Tabla 4.1. Letras adicionales IP contra el acceso a partes peligrosas, según UNE 20324:1993.

Letras adicionales del código IP	Descripción
A	Protegido contra el acceso con el dorso de la mano. Se prueba con una esfera de 50 mm, que ha de quedar a una distancia adecuada de las partes peligrosas.
B	Protegido contra el acceso con el dedo u objetos análogos. El dedo de prueba de 12 mm de Ø y 80 mm de longitud.
C	Protegido contra el acceso con una herramienta u otro objeto de diámetro superior a 2,5 mm y longitud máxima 100 mm.
D	Protegido contra el acceso con un alambre, de diámetro superior a 1 mm y longitud máxima de 100 mm.

Figura 4.4. *Interpretación del índice de protección IP.*

SABÍAS QUE

Una envolvente con la segunda cifra característica 7 u 8, no se considera adecuada para exponerla a chorros de agua, como los indicados por las cifras 5 o 6. Por tanto, las envolventes que satisfacen estos grados de protección (7 u 8) deben llevar un doble indicativo si se adecúan a un grado inferior, por ejemplo: IPX6/X8 o IPX5/X7.

- **Letra suplementaria:** que corresponde al grado de protección contra los choques mecánicos. Se posiciona después de la segunda cifra característica o tras la letra adicional si existe. En la aparamenta, solo se utiliza la letra suplementaria W indicando protección a la intemperie, siendo comprobada por medios diferentes de los utilizados para la segunda cifra característica y que son difíciles de aplicar a materiales considerables.

Tabla 4.2. Letras adicionales IP contra el acceso a partes peligrosas, según UNE 20324:1993.

Letra suplementaria del código IP	Descripción
H	Aparato de alta tensión.
M	Ensayo de verificación de la protección contra la penetración de agua efectuada sobre el material estando sus partes móviles en movimiento.
S	Ensayo de verificación de la protección contra la penetración de agua efectuada sobre el material estando sus partes móviles en reposo.
W	Material diseñado de forma que pueda utilizarse en las condiciones atmosféricas especificadas, y en el que se han previsto medidas o procedimientos complementarios de protección.

SABÍAS QUE

Una envolvente no se puede denominar con un IP indicado por una letra adicional si no garantiza que satisface también todos los grados de protección inferiores.

Los fabricantes de cuadros eléctricos aseguran el índice de protección indicado a todo el cuadro, **correctamente montado e instalado y con la puerta cerrada**. Si no se refiere a todo el cuadro, el fabricante ha de indicarlo e incluso aportar información de su grado de protección en determinadas condiciones de trabajo, como por ejemplo con la aparamenta sin instalar, puerta abierta o similares condiciones.

RECUERDA

Si no es necesario o no se conoce una de las cifras características, se sustitye por una X y así no genera confusiones sobre si la cifra está relacionada con la protección frente a sólidos extraños o líquidos. Si se omiten las dos cifras, se susituye por XX. Se pueden omitir letras adicionales o suplementarias sin sustitución.

En todo caso, para cuadros **de interior tipo cerrados**, el IP ha de ser como **mínimo igual o superior a IP2X** con el cuadro en funcionamiento. Si el cuadro es de **exterior** sin protección adicional, el grado de protección ha de ser como **mínimo IPX3**.

Su parte frontal y trasera tiene que ser como mínimo IPXXB, para evitar que cualquier usuario pueda introducir los dedos en ellas. Por ello, es obligatorio el uso de obturadores en los huecos que puedan quedar en las tapas.

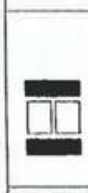
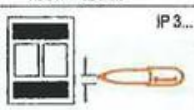
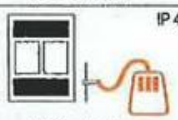
Actividad propuesta 4.1

Recientemente se ha publicado la nueva ITC-BT-52, del Reglamento de Baja Tensión, sobre recarga de vehículos eléctricos.

Busca información en internet e indica qué índice de protección IP han de tener los cuadros para la recarga de vehículos eléctricos según esta nueva normativa. ¿A qué crees que se debe ese tipo de protección?

En función de las condiciones de instalación de los cuadros, canalizaciones y en general el material eléctrico, debe adecuarse al lugar. **Para los locales e industrias con riesgo de incendio y explosión, existe actualmente una norma (CEI 64-2) que relaciona el entorno de instalación con el IP para los cuadros eléctricos** ubicados en este tipo de locales, pero para el resto de las instalaciones, únicamente hay que cumplir las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) del local considerado.

Hay que tener especial atención al uso y lugar de instalación para elegir adecuadamente el grado IP del cuadro, ya que si es muy superior el índice de protección y por las condiciones ambientales hay exceso de temperatura, es posible que existan problemas térmicos en el interior del cuadro, ya que a mayor grado de protección, menor transferencia de calor se efectúa entre el cuadro y el entorno.

			SIN PROTEC.	PROTECCIÓN CONTRA AGUA						
				CAÍDA VERTICAL	CAÍDA INCLINADA	CAÍDA CHISPEADA	CAÍDA SALPICADA	CHORRO DE AGUA	INUNDACIÓN DE AGUA	INMERSIÓN EN AGUA	SUMERSIÓN EN AGUA
										
			IP ...0	IP ...1	IP ...2	IP ...3	IP ...4	IP ...5	IP ...6	IP ...7	IP ...8
		IP 0...	IP 00		IP 02						
PROTECCIÓN CONTRA CONTACTO Y CUERPOS EXTRAÑOS	CUERPOS GRANDES	IP 1... MAX. = 50 MM	IP 10	IP 11	IP 12	IP 13		IP 15			
	CUERPOS MEDIANOS	IP 2... MAX. = 12 MM	IP 20	IP 21	IP 22	IP 23					
	CUERPOS PEQUEÑOS	IP 3...  MAX. = 2.5 MM	IP 30	IP 00	IP 32	IP 33	IP 34				
	CUERPOS GRANULENTOS	IP 4...  MAX. = 1 MM	IP 40	IP 41	IP 42	IP 43	IP 44				
	DEPÓSITO DE POLVO	IP 5...	IP 50				IP 54	IP 55	IP 56		
	PENETRACIÓN DE POLVO	IP 6...	IP 60					IP 65	IP 66	IP 67	IP 68

NOMENCLATURA	
IP LETRAS CARACTERÍSTICAS	PROTECCIÓN CONTRA CONTACTO Y CONTRA PENETRACIÓN DE CUERPOS EXTRAÑOS Y DE AGUA
DE 0 a 6 PRIMERA CIFRA CARACTERÍSTICA (Ejemplos de cuerpos extraños)	GRADOS DE PROTECCIÓN CONTRA CONTACTO Y PENETRACIÓN DE CUERPOS EXTRAÑOS
DE 0 a 8 SEGUNDA CIFRA CARACTERÍSTICA (Ejemplos de caídas de agua))	GRADOS DE PROTECCIÓN CONTRA PENETRACIÓN DE AGUA

Figura 4.5. *Grados de protección IP indicados por la primera y segunda cifra característica, según UNE 20324:1993.*

4.2.2. Grado de protección IK de envolventes

El grado de protección que indica el nivel de protección frente a daños de **impactos mecánicos externos** a las envolventes para material eléctrico se evalúa mediante el código IK. Está regulado por la norma IEC 62262 o su equivalente UNE 50102.

El código para el impacto mecánico sin sufrir deformaciones peligrosas, se identifica con la denominación **IK** seguida de once posibles cifras, cada una de ellas de dos dígitos, que van desde el 00 (no protegido), 01, 02, 03, y sucesivamente hasta el 10. A cada uno de estos números le corresponde un valor en **energía de impacto** en julios.

Al igual que ocurre en el grado de protección IP, si el fabricante no indica lo contrario, la protección frente al impacto macánico, IK, se aplica a toda la envolvente, es decir que en todo el conjunto se garantiza el grado de protección IK determinado. En el caso de cuadros, el código IK se aplica con todo instalado y la puerta cerrada, de no ser que se indiquen grados diferentes a los componentes del mismo separados.

Tabla 4.3. Valores asignados a las cifras del código IK de protección al choque mecánico, según norma IEC 62262 o su equivalente UNE 50102.

Grado de protección IK de las envolventes frente a impactos mecánicos

Código	Energía de choque (J)
00	Sin protección
01	0,15
02	0,20
03	0,35
04	0,50
05	0,70
06	1
07	2
08	5
09	10
10	20

4.3. Separación interna de cuadros eléctricos

Los cuadros eléctricos y en especial los de tipo armario, deben tener compartimentos funcionales separados mediante subconjuntos de soporte para la segmentación interna de la aparamenta, el embarrado principal o de distribución y conexión de cables para mantener la continuidad de la alimentación eléctrica en caso de avería o necesidad de intervención en el interior del cuadro, asegurando:

- **Protección contra contactos directos** (IP XXB como mínimo) en caso de acceder a una parte del cuadro sin tensión, estando una o varias partes del cuadro con tensión.
- **Reducir las posibilidades de formación de un arco eléctrico y su propagación.**
- **Evitar el acceso de cuerpos sólidos** de una parte a otra del cuadro (mínimo IP2X). Se suele separar o compartimentar internamente mediante tabiques o barreras.

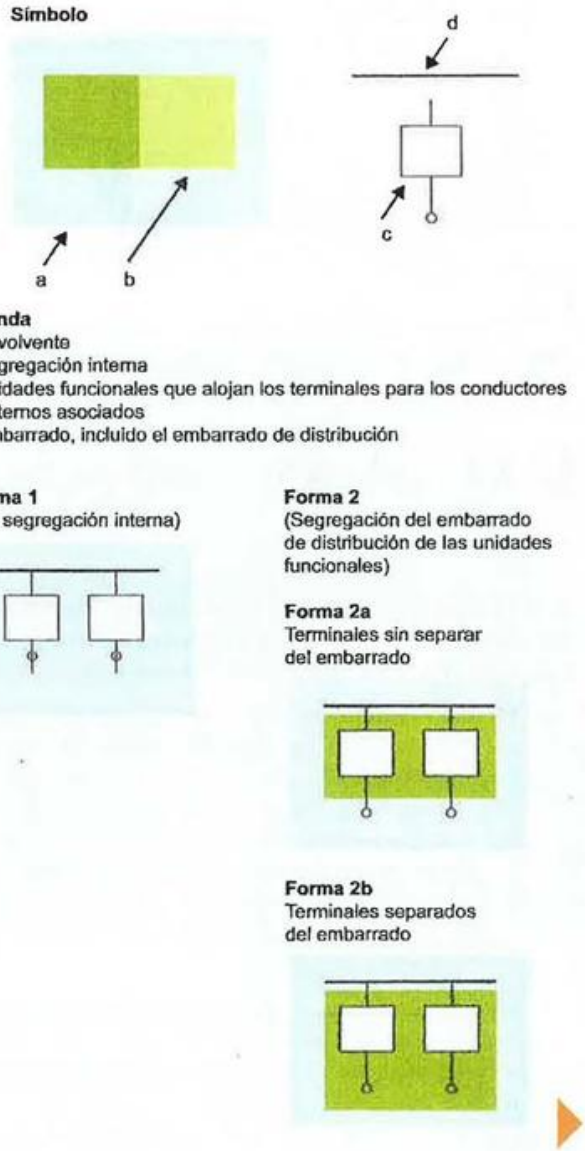
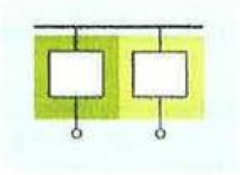


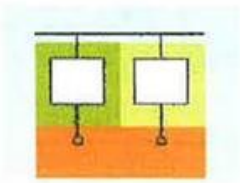
Figura 4.6. *Configuraciones comunes de compartimentación mediante barreras o tabiques. (Cortesía de ABB).*

Forma 3
(Segregación del embarrado de las unidades funcionales + Separación entre las unidades funcionales)

Forma 3a
Terminales sin separar del embarrado

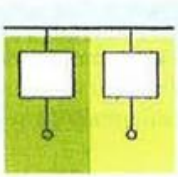


Forma 3b
Terminales separados del embarrado



Forma 4
(Segregación del embarrado de las unidades funcionales + Separación entre las unidades funcionales + Separación entre los terminales)

Forma 4a
Terminales y sus unidades funcionales asociadas en el mismo compartimento



Forma 4b
Terminales y sus unidades funcionales asociadas en distinto compartimento

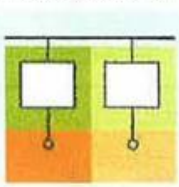


Figura 4.6. *Configuraciones comunes de compartimentación mediante barreras o tabiques. (Cortesía de ABB) (continuación).*

4.4. Tipología de cuadros y armarios eléctricos

En la actualidad, existen multitud de tipos de cuadros en el mercado que se adaptan a todas las aplicaciones en todo tipo de locales, para cubrir todos los sectores:

- **De uso residencial.** Son aquellos cuadros eléctricos que se instalan en las **viviendas**. Suelen ser pequeños, para hasta unos 12 elementos y los más modernos para instalar el ICP (interruptor de control de potencia), aunque en viviendas de gran superficie como en las unifamiliares donde la derivación individual es trifásica y se dispone de domótica, suelen ser cuadros más similares a cuadros secundarios para uso terciario e industrial.
- **De uso terciario.** A esta familia pertenecen todos aquellos cuadros en los que sin ser de uso residencial o doméstico, **no se obtienen ni transforman productos**. Pertenecen a este tipo de locales aquellos que son de púbica concurrencia (centros comerciales, edificios de oficinas o similares), bancos, peluquerías... Son cuadros normalmente más grandes que los de uso residencial al ser superficies mayores y tener normalmente un cuadro general de baja tensión y varios secundarios.
- **De uso industrial.** Pertenecen al tipo de cuadros industriales los que están situados en lugares donde se **obtienen o transforman productos**. Hay gran variedad de industrias, y dependiendo de las condiciones ambientales en que sea necesaria la ubicación de los cuadros eléctricos, se debe prestar atención a que tenga la suficiente protección frente a partículas, agua o golpes, adecuados al lugar de instalación, o que tengan la certificación ATEX (atmósferas explosivas) si están en un lugar con riesgo de incendio o explosión.

Los cuadros eléctricos se pueden clasificar en diferentes modos atendiendo a los siguientes criterios:

Figura 4.7. *Clasificación de los cuadros eléctricos.*

4.4.1. Clasificación según la función que desempeña en la instalación eléctrica

Según sea la función que desempeñe el cuadro eléctrico en la instalación, se distinguen los siguientes tipos:

Cuadro general de baja tensión o cuadro de distribución

También pueden ser llamados cuadros primarios de distribución, cuadros de potencia o *Power Centers*. Son aquellos cuadros a los que llega la derivación individual o el

primer cuadro de la instalación interior en baja tensión si es alimentado mediante centro de transformación propio. Es el encargado de gestionar una o más entradas generales (por ejemplo, red y grupo electrógeno) para distribuirlas a un número determinado de líneas de salida mediante sus protecciones correspondientes (magnetotérmica y diferencial como mínimo), que generalmente corresponderá con el número de cuadros eléctricos secundarios de la instalación.

Figura 4.8. *Cuadro general de distribución.*

Cuadros secundarios

Los cuadros secundarios son aquellos que gestionan la energía normalmente mediante una llegada del cuadro general de distribución y se deriva a numerosos circuitos finales para alimentar a los receptores. Hay cuadros en los que pueden llegar dos o más líneas, como puede ser la de socorro, en los que en caso de corte de suministro eléctrico, aporta la energía eléctrica suficiente únicamente a los circuitos prioritarios (normalmente rotulados en color rojo).

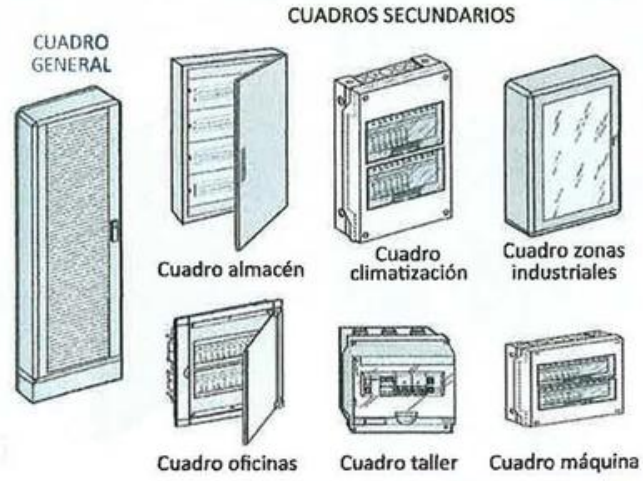


Figura 4.9. *Cuadros secundarios.*

Cuadros de control, medición y protección

Son aquellos cuadros eléctricos que albergan los elementos de protección, maniobra, control y medición de partes de la instalación en la **puerta del cuadro o en forma de pupitre.**

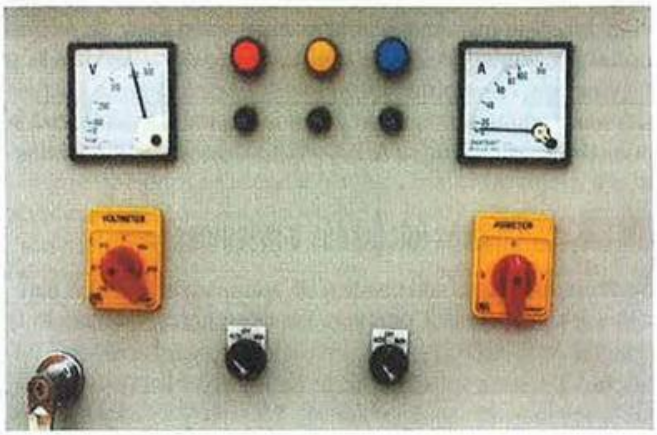


Figura 4.10. *Vista frontal de la puerta de un cuadro de control para automatismos.*

Es típico en industrias, donde se desea activar o desactivar interruptores, generalmente de tipo rotativo, para realizar tareas en el proceso productivo y visualizar su estado actual, indicado mediante lámparas de señalización de diversos colores, principalmente verde y rojo.

Además, suelen incorporar voltímetros, amperímetros o analizadores de redes para conocer los parámetros eléctricos en todo momento.

En su interior disponen de los elementos de lógica cableada (relés, contactores, temporizadores, etc.) o los elementos del autómata programable, así como todos los dispositivos de protección contra sobrecargas y cortocircuitos, además de la protección diferencial con selectividad correspondiente.

Actividad propuesta 4.2

Indica un ejemplo del sector terciario en el que se empleen cuadros de control, medición y protección.

RECUERDA

Es necesario utilizar correctamente la selectividad diferencial, ya que es fundamental en cualquier instalación eléctrica discriminar un posible defecto a tierra dejando sin suministro únicamente la parte del circuito donde se produce. De no ser así, puede interrumpirse la alimentación desde el cuadro general con los inconvenientes tanto económicos como de seguridad que supone.

Cuadros de automatismos para control y de protección de motores

Los cuadros de protección de motores son denominados también *Motor Control Center* y son aquellos cuadros, como su propio nombre indica, para centralizar el control y protección de los motores que se tengan en la instalación. Se suelen utilizar en la extracción forzada de los garajes, industrias y depuradoras entre otros. En su interior se encuentran las protecciones contra sobrecargas y cortocircuitos. También se dispone de protección diferencial, señalización y control auxiliar.

Cuadros integrados a máquinas

Se denominan también cuadros de automatización. Son parecidos a los de control y protección de motores, realizando la función de servir de panel de operación entre usuario y máquina, con los interruptores de marcha y paro, setas de emergencia y señalización correspondiente. En la mayoría de los casos, estos cuadros son montados por el fabricante de la máquina. El instalador deja prevista la instalación para alimentar a estos cuadros según la potencia requerida por la máquina.

Figura 4.11. *Cuadro integrado en máquina.*

Cuadros de obra

Son cuadros dedicados a las instalaciones temporales para la construcción de nuevos edificios, tareas de reparación, modificación, extensión y demolición, así como trabajos públicos, de excavación o similares. En su interior contienen los dispositivos de mando y protección contra corrientes anormales tales como sobrecargas y cortocircuitos, protección contra contactos indirectos y bases o tomas de corriente.

Existen cuadros de obra de diferentes tamaños y materiales constructivos, metálicos o de fibras, siendo conductores o aislantes respectivamente. Además, pueden ser cuadros móviles (son los más habituales) o fijados en un punto determinado de la obra.

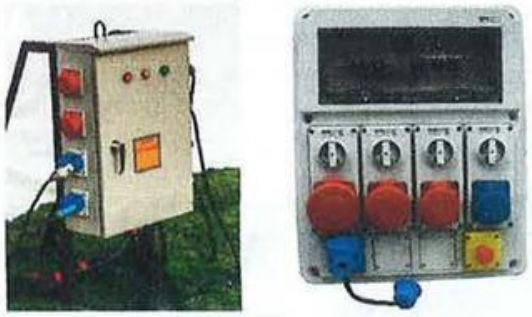


Figura 4.12. *Cuadros de obra.*

SABÍAS QUE

Según el REBT en su ITC-BT-33, las envolventes, la aparamenta, las tomas de corriente y los elementos de la instalación que estén a la intemperie deberán tener como mínimo un grado de protección IP45.

Cuadros de baja potencia

Este tipo de cuadros se emplea para aplicaciones de escasa potencia, como pequeñas máquinas y para uso doméstico. Están prefabricados generalmente en fibra de poliéster, policarbonato o similar y su instalación es de forma mural empotrados o en superficie. Están diseñados para alojar en ellos un número muy reducido de aparamenta, como interruptores, diferenciales, relojes y contactores. Dado que no son flexibles, si se desea ampliar las instalaciones, los fabricantes ponen a disposición cuadros modulares, para poder ampliarlos mediante la fijación lateral de cuadros.

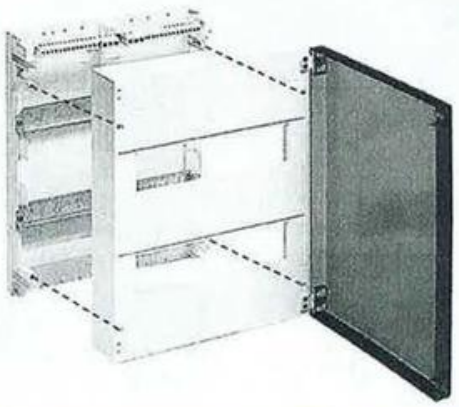


Figura 4.13. *Cuadro para un número muy limitado de elementos. En este caso, veinticuatro. (Cortesía de Siemens.)*

4.4.2. Clasificación según el material constructivo

En función de la naturaleza del material empleado para la fabricación de cuadros eléctricos se clasifican en cuadros metálicos o aislantes.

Cuadros eléctricos metálicos

Son aquellos cuadros cuyo material constructivo es en chapas de acero generalmente soldadas. Disponen de bisagras para la puerta y normalmente está reforzada con chapas verticales para soportar mejor los esfuerzos de flexión. Son adecuados para trabajar en condiciones adversas, principalmente industriales. Los cuadros metálicos pequeños se suelen ubicar en la pared correctamente anclados con tirafondos o empotrados y los armarios que son de grandes dimensiones, apoyados en el suelo donde las canalizaciones de entrada y salida del cuadro se realizan por la parte inferior. En algunos cuadros metálicos, cuando además se precise un grado de protección mínima de un IP55, se suelen bordear con caucho en todo su perímetro conformando así una envolvente protegida al polvo y al agua.

Las tapas horizontales para ubicar los diferentes elementos son metálicas y suelen llevar tornillos a los laterales para poder quitarlas con un destornillador. En muchos de estos tipos de cuadros, la propia tapa lleva en uno de sus extremos bisagras, por tanto estos carecen de puerta y quedan los paneles visibles al exterior, siendo típicos en cuadros generales.

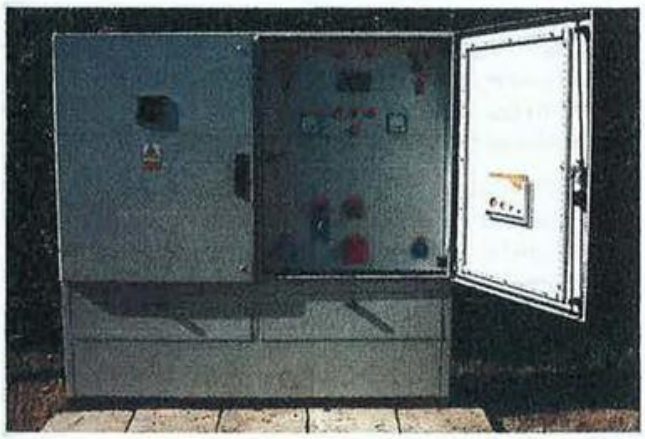


Figura 4.14. *Cuadro eléctrico metálico.*

Al manipular este tipo de cuadros hay que fijarse en que tengan **conexiones a tierra todos los elementos metálicos,** garantizando la seguridad necesaria al instalador, ya que de lo contrario podemos tocar partes en tensión que pueden ser derivadas a través del cuerpo a diferentes potenciales y sufrir una descarga eléctrica de importantes consecuencias.

Cuadros eléctricos de plástico y fibra (aislantes)

Se trata de cuadros eléctricos cuyo material principal de la envolvente son materiales plásticos como el poliéster con fibra de vidrio y policarbonato para asegurar una resistencia mecánica suficiente. Se trata de cuadros aislantes que en función de las necesidades son más o menos estancos. Soportan de forma aceptable las condiciones ambientales adversas como ataques químicos por sustancias como alcoholes, hidrocarburos, etc. Resisten atmósferas de gases, hongos debido a la humedad y a la luz ultravioleta. En el mercado existen cuadros aislantes con grados de protección hasta IP65. Se suelen ubicar empotrados directamente en la pared.

SABÍAS QUE

El policarbonato es un material del grupo de los termoplásticos, que al taladrarlo no quiebra, siendo fácil de trabajar, termoformar y moldear. Tiene el inconveniente que a diferencia del metacrilato, se raya muy fácilmente.

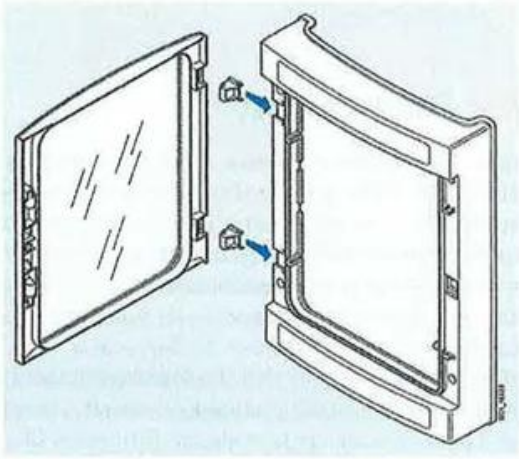


Figura 4.15. *Cuadro fabricado en fibra. (Cortesía de Siemens.)*

4.4.3. Clasificación según el diseño exterior

En función de la forma externa y acceso a partes interiores se distinguen los siguientes tipos de cuadros.

De caja o cofre

Son aquellos cuadros eléctricos diseñados para instalarse en pared, empotrados o en superficie. Son típicos en pequeños cuadros generales de baja tensión o distribución y para

cuadros secundarios en edificios de pública concurrencia, industrias, etc. Son los empleados en las viviendas, garajes y similares. Por tanto, su aplicación abarca tanto al uso residencial, terciario e industrial, siendo muy versátiles. Las canalizaciones suelen llegar por la parte superior, inferior, lateral e incluso por el fondo para las entradas y salidas del cuadro en función del tipo y geometría de la instalación. Son cuadros monomodulares y por tanto no ofrecen la ventaja de ser ampliados, por ello son utilizados en lugares donde no se realizarán ampliaciones de importancia.

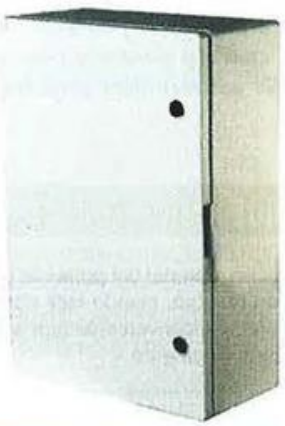


Figura 4.16. *Cuadro de caja o cofre.*

Cuadros modulares

Es el caso de cuadros eléctricos cuya característica es ser multicaja o modular para poder ampliarse conformando compartimentos. Se suelen unir entre ellos mediante una estructura común o mediante bridas en cuyas cajas se incorporan los componentes necesarios como interruptores automáticos, guardamotores, elementos de maniobra y control, arrancadores sólidos, variadores de frecuencia, etc. Tienen la ventaja de poder prever una posible reposición a condiciones anteriores o futuras pudiendo eliminar o ampliar cajas. Las canalizaciones para conectar diferentes elementos de distintas cajas se efectúan mediante orificios situados en las paredes entre dos cajas adyacentes. Son los habituales en módulos de centralización de contadores, cuadros para locales húmedos como depuradoras y similares.

Cuadros enchufables

Son aquellos cuadros que constan de un zócalo con conexiones para poder conectar y desconectar elementos del cuadro tales como interruptores, en caliente o en tensión. No son muy habituales, dado el coste que tienen, pero son muy útiles en sectores como el industrial, donde interesa realizar cambios en la estructura de la instalación en función del proceso de producción en cada momento, ofreciendo gran flexibilidad, o en aquellas instalaciones donde se tienen equipos de repuesto para el cuadro y poder ser sustituidos en caso de averías para continuar el funcionamiento, y posteriormente, reparar o pedir al fabricante una nueva unidad del elemento reemplazado.

Existen también en el mercado cuadros en los que se combina la parte extraíble y la parte fija en una misma envolvente.

Figura 4.17. *Cuadro con módulos extraibles para motores SIVACON S8. (Cortesía de Siemens.)*

Armarios eléctricos

Los armarios eléctricos son un caso particular de cuadros que se caracterizan por sus grandes dimensiones, estando construidos con sólidos bastidores, ofreciendo una extrema resistencia, durabilidad y estabilidad para soportar todos los elementos en su interior. Suelen ir apoyados en el suelo y sus canalizaciones de entrada y salida de circuitos se suelen instalar por la parte inferior y/o superior.

Se utilizan muy habitualmente en configuraciones tales como cuadros de distribución de gran envergadura, cuadros secundarios de control de motores de potencias considerables, quirófanos en los que hay numerosos circuitos y equipos de mucho volumen como el transformador de aislamiento y en general para uso industrial o en locales de pública concurrencia tales como edificios dedicados a oficinas, hospitales, servicios comunes de centros comerciales o en el montaje de centralitas, UPS, servidores, equipos de telecomunicaciones y todas las instalaciones que requieran numerosos componentes y/o equipos generalmente pesados en su interior.

Los armarios permiten ubicarse uno al lado de otro cuando así lo requiera la instalación. Interiormente, entre cuadro y cuadro, existen perforaciones para que les atraviese entre sus caras laterales el embarrado general y así poder distribuir los circuitos en cada uno de los armarios.

Pupitres

Son aquellos cuadros en los que los elementos de control se ubican de forma horizontal para poder controlar las máquinas, señalización y medida de los elementos que componen las instalaciones de gran importancia como generación (central hidroeléctrica, central nuclear, de ciclo combinado, etc.) así como en grandes hospitales, industrias siderometalúrgicas y similares. En dicho pupitre, se dispone de un sinóptico global de la instalación eléctrica, señalizándose alarmas, disparos de interruptores o térmicos, tensiones, intensidades y un sin fin de información importante para el técnico de mantenimiento.

Figura 4.18. *Cuadro de control para automatismos de tipo pupitre.*

4.4.4. Clasificación según las condiciones de instalación

Dependiendo de las condiciones ambientales de instalación de los cuadros eléctricos así como de los locales de características especiales, se pueden diferenciar los siguientes tipos:

- De interior.
- De exterior.
- Cuadros para locales húmedos.
- Cuadros para locales mojados.
- Locales con riesgo a la corrosión.
- Cuadros para locales polvorientos sin riesgo de incendio y explosión.
- Cuadros para locales de riesgo de incendio y explosión.

Los fabricantes certifican sus productos para el uso que indican, quedando excluida su garantía y responsabilidad si el material instalado ha sido en condiciones diferentes a las marcadas en las instrucciones del fabricante.

Figura 4.19. *Cuadro de exterior.*

Figura 4.20. *Zonas de clasificación de atmósferas explosivas.*

Actividad propuesta 4.3

Accede, a través de la página web de la editorial (www.paraninfo.es) a un documento en formato PDF denominado "Clasificación de cuadros y aparamenta en función de las condiciones de instalación". Tras leer el documento, responde a las siguientes cuestiones:

a) Define las características que deben cumplir los cuadros eléctricos de interior y exterior.

b) Indica ejemplos de locales industriales húmedos y mojados.

c) Indica ejemplos de locales industriales con riesgo de incendio y explosión.

d) Propón ejemplos comunes donde se produzcan deflagraciones.

4.4.5. Clasificación según el método de instalación del cuadro

En función de la forma de instalación, se pueden distinguir dos tipos:

Cuadros fijos

Son los cuadros de interior o exterior para disponerse de forma mural (en pared, empotrados o en superficie) o en el suelo.

Figura 4.21. *Cuadro de maniobra de un automatismo industrial fijo en superficie o fijación mural.*

Cuadro móvil

Son los cuadros de interior o exterior que pueden ser situados en cualquier lugar autorizado de tal forma que su traslado sea fácil y sencillo. Un ejemplo de uso de estos cuadros es el de las obras, ferias o instalaciones similares.

Actividad resuelta 4.1

Pon ejemplos de cuadros que sean de interior y fijo, de interior y móvil, de exterior y fijo, de exterior y móvil.

Solución:

- **De interior y fijo.** La mayoría de los cuadros corresponden a este tipo de cuadros. Ejemplos de ello son: cuadros para viviendas, locales comerciales, industrias y similares.
- **De interior y móvil.** Son de los menos habituales, pero ejemplos de ellos pueden ser cuadros para las ferias y *stands* de recintos feriales, o similares.
- **De exterior y fijo.** Corresponden a este tipo de cuadros los cuadros para alumbrado público de calles, carreteras y similares.
- **De exterior y móvil.** Ejemplos de este tipo de cuadros son aquellos que son de tipo obra en los que interesa desplazar los cuadros para tener un suministro móvil al tener que utilizar herramientas en puntos muy distantes.

4.4.6. Clasificación según su acceso al interior del cuadro

Los cuadros eléctricos para automatismos industriales pueden ser de tipo abierto o cerrado.

Cuadro abierto

Se trata de cuadros con o sin panel frontal en los que hay componentes accesibles en tensión. Los que tienen panel frontal (normalmente sirve para dar un grado de protección IP y/o IK a la envolvente y evitar contactos directos), se abren con facilidad, por ejemplo por maneta, para acceder a las partes metálicas de los componentes, teniendo contactos directos. Es típico de grandes armarios de distribución antiguos. Es obligatorio disponer de una protección como por ejemplo una plancha de metacrilato, para impedir posibles accidentes eléctricos. Únicamente pueden ser utilizados en locales técnicos con acceso restringido a personal autorizado. Ejemplos de cuadros abiertos sin panel frontal son los cuadros de maniobra mediante relés y contactores, cuadros en los que están las placas electrónicas para ascensores o cuadros de alarma y disparo de temperatura de transformadores en centros de transformación.

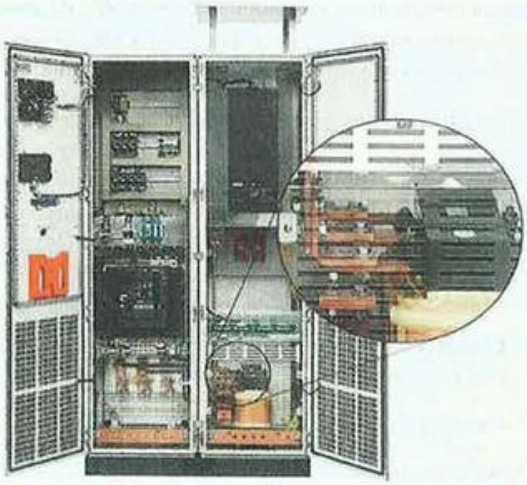


Figura 4.22. *Cuadro de tipo abierto para automatismos. (Cortesía de Siemens.)*

Cuadro cerrado

Es aquel que está contorneado mediante superficies protectoras en todas sus caras, de tal forma que solo se puede acceder a su interior mediante llave o útil adecuado, siendo la persona autorizada consciente de sus riesgos. Evita contactos directos a partes en tensión además de un grado de protección mínimo frente a polvo, agua y golpes (IP XXB), según el lugar de instalación.

Este tipo de cuadros se emplea en la mayoría de los casos ya que así lo exige el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión para todos los locales en los que pueda haber personal no autorizado como en viviendas, locales comerciales y en general de pública concurrencia.

Figura 4.23. *Cuadro de tipo cerrado, para acceder a su interior hay que retirar tapas.*

4.5. Elementos y componentes de los cuadros eléctricos

Un cuadro eléctrico está formado por numerosos elementos o componentes que dependen de la complejidad, aplicación y uso del mismo. Puede tener más o menos componentes conformando el cuadro para que cumpla la función para el cual ha sido diseñado, montado e instalado.

4.5.1. Componentes mecánicos de los cuadros

Son los elementos de los cuadros eléctricos que sirven para conformar la estructura, revestir, fijar y proteger el conjunto ofreciendo un sistema sólido de la envolvente y aparellaje interno.

Elementos para conformar y revestir la estructura

Armazón

Es el componente elemental de un cuadro eléctrico. Si los cuadros no son muy grandes, está compuesto por un chasis metálico para posteriormente unirse a una chapa que hace de fondo donde se apoya la aparamenta.

En el caso de cuadros tipo armario, para conformar la estructura se realiza con largueros metálicos, normalmente de acero galvanizado y unidos mediante tornillería autoroscante, estableciendo el paralepípedo o caja del cuadro con una alta solidez mecánica. También asegura que toda la envolvente desde el punto de vista eléctrico poseea conexiones directas equipotenciales, dando masa a los aparatos que se instalen posteriormente y que se conectarán a la red de difusión a tierra.

Si se unen entre sí diferentes armazones, se consigue formar una gran estructura en línea pudiendo instalar gran cantidad de aparamenta en su interior.

Figura 4.24. *Armazón de un armario eléctrico. (Cortesía de Siemens.)*

Subconjuntos de soporte

Para conseguir una correcta compartimentación de los armarios, se divide el armazón en diferentes partes:

- Embarrado de distribución.
- Aparamenta.
- Conexión de cables mediante soportes.

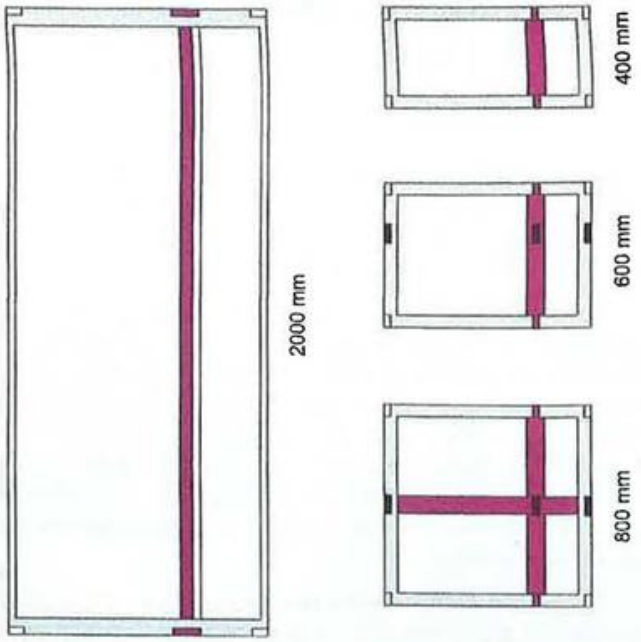


Figura 4.25. *Planta de armazón con subconjuntos de distintos soportes.*

Paneles

Los paneles tienen como misión revestir exteriormente el cuadro alrededor del armazón para ocultar la estructura y dar el grado de protección IP e IK necesario que se requiera formando una envolvente.

Son fabricados en fibras o metálicos. Los metálicos son de chapa de acero y se pintan con pinturas en polvo. Su montaje se realiza bien mediante tornillos para fijar los paneles al armazón, siendo necesario el uso de útiles específicos para su desmontaje, o con partes móviles como bisagras y topes para poder abatir estos paneles en caso de necesidad por mantenimiento, avería o inspección.

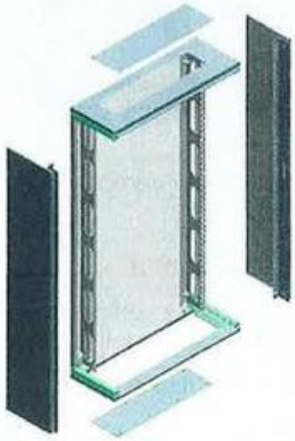


Figura 4.26. *Paneles de un cuadro eléctrico. (Cortesía de Siemens.)*

Elementos para tapar y proteger contra contactos directos

Cierres

Son elementos de los cuadros que se ponen en las puertas para impedir el acceso a personal no autorizado de los componentes de los automatismos. Las hay de diversos tipos, siendo los más comunes de tipo llave para cerradura, de triángulo, cuadrada, redonda con terminaciones planas y similares.

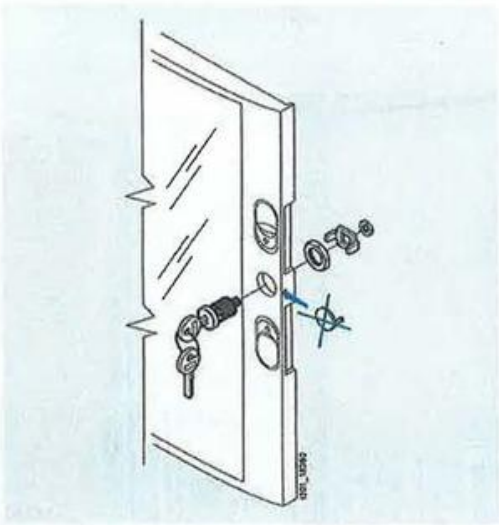


Figura 4.27. *Detalle de instalación de una cerradura para cuadro eléctrico. (Cortesía de Siemens.)*

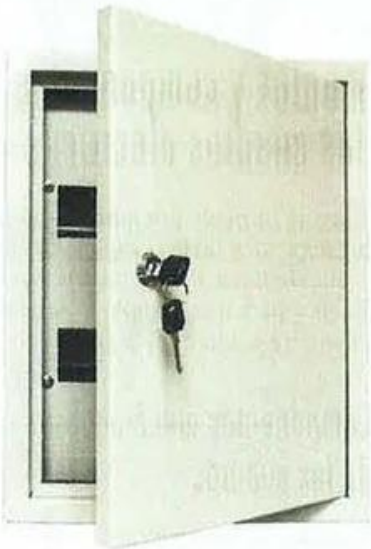


Figura 4.28. *Cuadro con cerradura en puerta para evitar acceso a personas no autorizadas.*

Cubiertas para entrada de tubos y canales

Tienen como objetivo tapar los huecos que se efectúan en los cuadros para que lleguen los tubos o canales con los cables y queden estos con la protección mecánica suficiente para que no se introduzcan roedores, impedir la entrada de agua y similares.

Si no se dispone de cubiertas de tubos y canales es de buen hacer introducir espuma de poliuretano para aislar y sellar los posibles huecos.

Obturadores

Una vez finalizado el montaje de todos los aparatos que sobresalen de las tapas del cuadro para su acceso desde el exterior, se han de poner unas cubiertas en las tapas de los cuadros llamadas obturadores. Es necesario para evitar la introducción de partes sólidas como el polvo y la introducción de partes del cuerpo como los dedos, consiguiendo así una buena protección IP y un aspecto del cuadro adecuado.

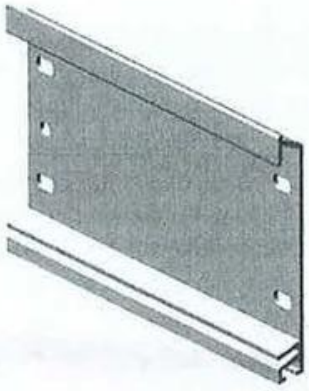


Figura 4.29. *Obturador para huecos en tapas de cuadros.*

Placas

Son planchas de material metálico o plástico que van situadas en el fondo del cuadro que sirve de base para el apoyo de la aparamenta y equipos del cuadro. Hay diferentes tipos de placas: en bruto, premecanizadas o con perforaciones corporativas de cada fabricante.

- **Placas en bruto.** Son aquellas que es necesario mecanizar para poder anclar correctamente todos los aparatos que integra el cuadro. Los materiales que se emplean son los de material de fibra de poliéster, policarbonato o metálicos. En caso de ser metálicos han de tener puesta a tierra directa, ya que pueden ser partes accesibles que normalmente no están en tensión pero pueden estarlo en caso de defecto. Pueden actuar de revestimiento en caso de cuadros tipo cofres o establecer una separación del revestimiento normalmente mediante torretas elevadoras e incluso aisladores.

Figura 4.30. *Placa galvanizada en bruto para cuadros de automatismos.*

- **Placas premecanizadas.** Se trata de piezas perforadas que tienen la ventaja de poder instalar fácilmente los componentes del cuadro si son de tipo normalizado. Mediante unas rebabas en las piezas presionadas situadas en medio del conjunto tuerca-tornillo se consigue una fijación firme.
- **Placas con perforaciones corporativas.** Corresponden a este tipo de placas aquellas que cada fabricante ofrece a sus clientes para que la unión entre el equipo y la placa sea óptima. Tienen el inconveniente que cada marca diseña sus placas para poder instalar sus componentes en ella, limitando la compatibilidad con productos de otros fabricantes.

Precintos

Es una ligadura o señal sellada que sirve para evitar el acceso y/o manipulación a equipos como contadores, tarificadores e interruptores de control de potencia (ICP) y cajas de registro poniéndose en una o varias esquinas en un cuadro o bien en los tornillos de fijación de la puerta o tapa.

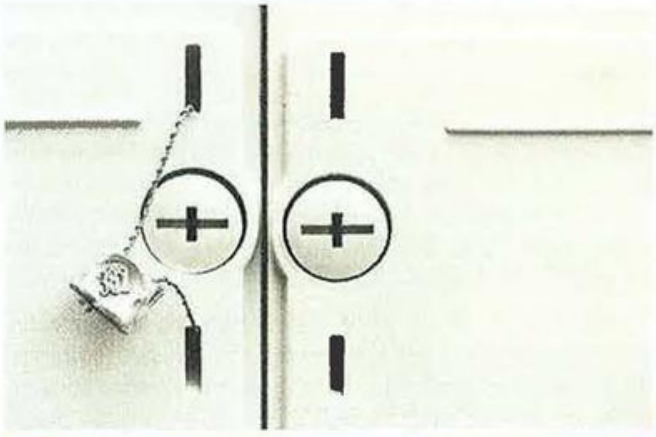


Figura 4.31. *Precinto en cuadro eléctrico.*

Puertas

Son elementos para abrir y cerrar los cuadros, garantizando una protección IP adecuado frente a polvo y agua con una junta entre la puerta y la parte frontal del cuadro. Impiden, en todo caso, el acceso a personas no autorizadas mediante el empleo de algún sistema de cierre con llave o empleo de un útil adecuado. Las puertas, por sistema, han de ponerse a tierra si son metálicas, aunque hay fabricantes como Schneider Electric o Siemens que garantizan la continuidad de las bisagras, pero en caso que las puertas tengan aparatos eléctricos, ha de darse tierra directa a las puertas mediante el perno preparado para tal fin.

Las puertas pueden ser opacas, en las cuales en conjuntos de grandes armarios se suele dibujar un sinóptico para representar las partes de la instalación generalmente industriales y de pública concurrencia, o por el contrario, son transparentes para visualizar sin tener la necesidad de abrir la puerta el estado de los pilotos o lámparas de señalización y las posiciones de los interruptores y elementos de maniobra y control.

Figura 4.32. *Puerta de un armario eléctrico. (Cortesía de Siemens.)*

Tapas

Las tapas son cubiertas, generalmente modulares, que se ponen en la parte frontal para que no estén visibles las partes con tensión e impedir contactos directos tanto a personal no autorizado como a operarios que realizan maniobras. Ofrecen un grado IP adecuado al polvo y a las partes del cuerpo. Se fabrican de chapa de acero o bien de plástico.

Existe otro tipo de protecciones frente a los contactos directos, principalmente utilizados en armarios antiguos, en los cuales abriendo la puerta se accede a partes con tensión. En estos casos se ha de instalar una protección mecánica en partes metálicas que generalmente se realiza con metacrilato aunque actualmente dada la evolución de los materiales se utiliza el policarbonato al ser más fácil de trabajar y no quebrarse al ser cortado o taladrado.

Figura 4.33. *Tapa de un cuadro eléctrico. (Cortesía de Siemens.)*

Envolventes prefabricadas y de protección frente a la lluvia

Su función es impedir la entrada de agua de forma vertical garantizando un IP X3 como mínimo y por ello se colocan de forma inclinada. Suelen ser de hormigón o metálicos por su alta resistencia a los impactos.

Los cuadros se instalan en el interior de construcciones prefabricadas o si el cuadro no tiene grandes dimensiones, la propia envolvente se dota de un tejado para soportar condiciones adversas.

Figura 4.34. *Construcción prefabricada para alojar en su interior cuadros eléctricos. La parte negra de la figura es soterrada.*

Elementos de fijación y canalización

Las entradas y salidas de las canalizaciones en los cuadros se pueden realizar en diferentes formas según sea el tipo de canalización y sistema de instalación.

- **En cuadros empotrados:** se emplean canalizaciones mediante tubos rígidos, curvables o flexibles de plástico o acero.
- **En cuadros de fijación en pared o directamente apoyados en el suelo:** la entrada de los tubos se realiza con tubos, bandejas o canales protectoras para el tipo de montaje superficial.

Dado que el fabricante del cuadro asegura los grados de IP para cada modelo, se ha de tener precaución al instalar las canalizaciones, ya que no se puede asegurar el índice de protección requerido, si por ejemplo no se emplean los accesorios necesarios para tener la estanqueidad o métodos de montaje indicados en sus manuales e instrucciones.

Los accesorios de acoplamiento en los cuadros son principalmente los que se exponen a continuación:

Perfiles soporte y carriles normalizados

Los perfiles son pletinas amagnéticas de chapa de acero, aluminio, acero laminado en frío, bicromatados (para proteger de la corrosión) e incluso de plástico, en los que **los cantos tienen unos rebordes particulares** bien para servir de montantes y formar el armazón combinando perfiles y uniones, o bien para ubicar en ellos transversalmente la aparamenta, bornes de conexión y multitud de accesorios mediante pestañas especiales con muelle o tornillería denominándose **carriles.**

En el mercado existen diversos tipos, con sección cuadrada abierta, asimétrica en forma de J, DIN, etc., y en formato liso o perforado para quitar peso o para poder ajustarse fácilmente la posición de fijación.

El más frecuente es el carril DIN (su sección tiene forma de sombrero), siendo el perfil simétrico (con ambos bordes idénticos). Se fabrican en diferentes medidas, el más usual es de 35 × 7,5 mm, aunque también se manejan comercialmente los tamaños de 35 × 7,5 y 15 × 5,5 mm y en longitudes de 2 metros. Los fabircantes de cuadros también preparan para sus *kits* de montaje carriles específicos para la envolvente ajustados a la anchura, altura y rematados.

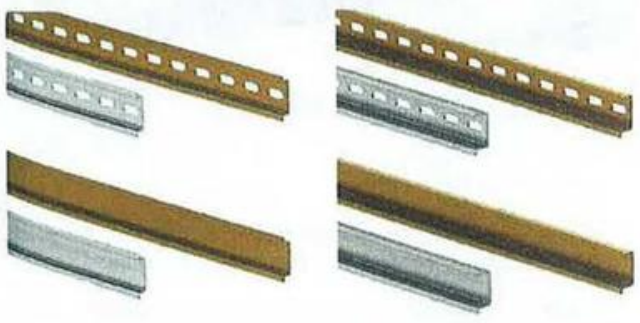


Figura 4.35. *Diferentes tipos de perfiles normalizados.*

Figura 4.36. *Soporte de la aparamenta con carril DIN.*

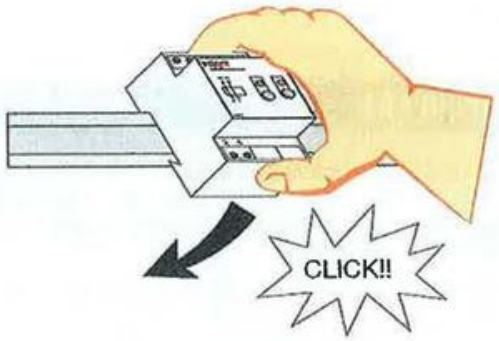


Figura 4.37. *Método de instalación de aparato en carril DIN.*

Estos carriles se fijan directamente al fondo del cuadro, en un chasis mediante remachado, atornillado o método de sujeción similar, o con escuadras cuadradas, existiendo también soportes formando un ángulo determinado.

Figura 4.38. *Soporte tipo escuadra de fijación para carril DIN.*

Figura 4.39. *Soporte de fijación formando ángulo para carril DIN.*

Se comercializan también carriles parecidos al DIN, pero en vez de forma de sombrero, con los bordes hacia dentro en forma de C, o también una combinación de ambos, en forma de G, con un borde hacia fuera y el otro hacia dentro. El uso de estos dos últimos suele ser para atornillar mediante tuercas conductores de tierra, entre otras aplicaciones.

Bastidores para la aparamenta

Son soportes especiales preparados específicamente para la aparamenta que tiene un peso importante. Estos bastidores se fijan al cuadro mediante tornillos, remaches o soldadura, que sirve de base para unir con la envolvente del equipo eléctrico, generalmente interruptores automáticos de corte omnipolar de caja moldeada.

RECUERDA

Corte omnipolar hace referencia al dispositivo que es capaz de abrir todos los polos activos, es decir, las tres fases y el neutro para una instalación trifásica con neutro distribuido o una fase y el neutro si es monofásica.

Canaletas

Son canalizaciones que se instalan remachadas o atornilladas en el interior de los cuadros para conducir por ellas los cables sin la necesidad de usar elementos de fijación como bridas, grapas o abrazaderas. Están diseñadas para poder distribuir los conductores por cualquier parte del cuadro ya que tienen aberturas en toda su longitud. Al ser como una canal protectora, es decir, como una bandeja con tapa, al quitar esta, quedan visibles todos los conductores siendo fácilmente manejable la ampliación, modificación o sustitución del cableado. Normalmente, en su interior no se manejan secciones de conductor de más de 10 mm^2.

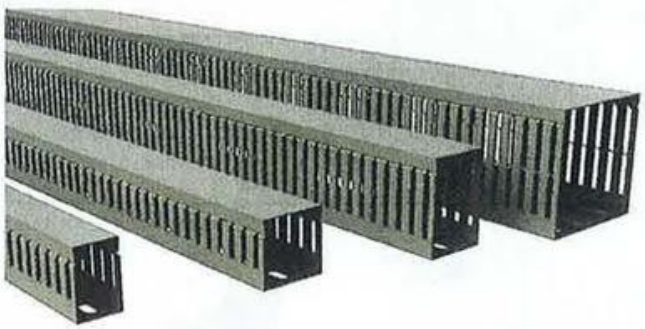


Figura 4.40. *Diversos tamaños de canaletas para cableado interno de cuadros.*

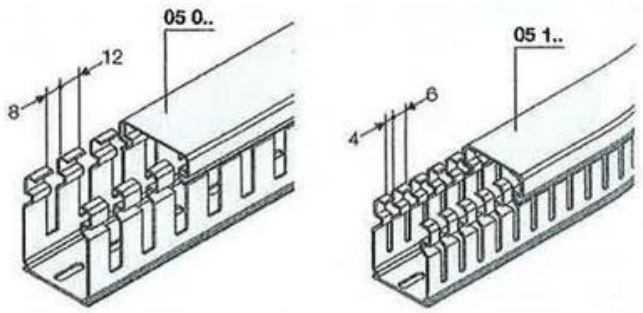


Figura 4.41. *Ejemplo de dimensiones de canaletas para el cableado interno de un cuadro.*

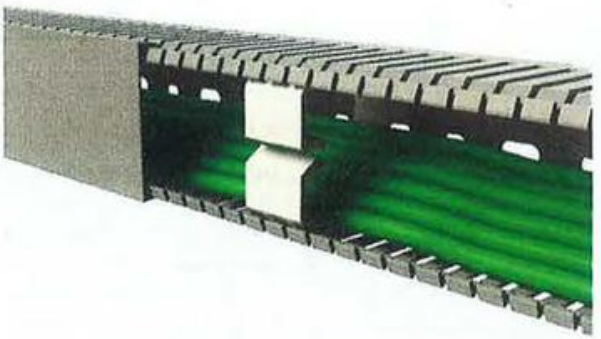


Figura 4.42. *Detalle de canalización de conductores en el interior de canaleta.*

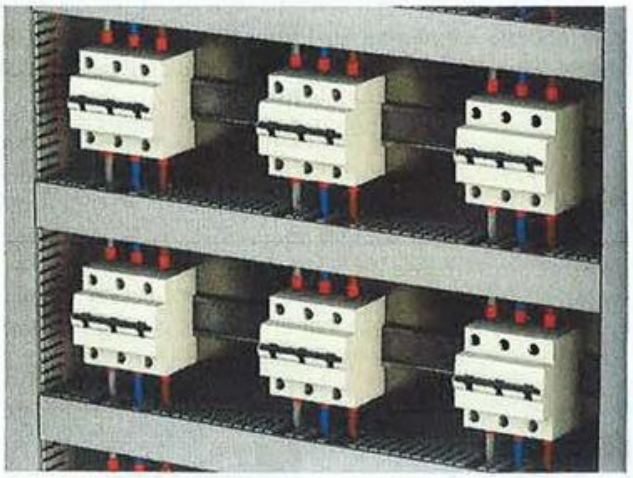


Figura 4.43. *Canaletas montadas en cuadro.*

Grapas y abrazaderas

Las abrazaderas se utilizan para fijar los cables y otros elementos al cuadro, como los tubos cuando son metálicos.

Cuando se desea alta resistencia en la fijación, se emplean **abrazaderas metálicas**, en las cuales el ajuste se realiza mediante tornillo.

También se utilizan **cintas perforadas** que son flejes con agujeros.

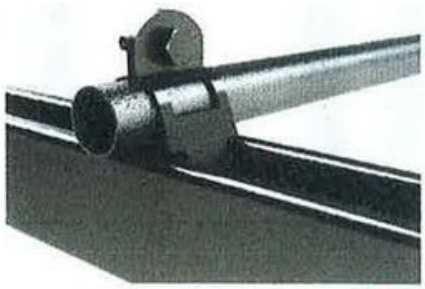


Figura 4.44. *Brida metálica de fijación de un tubo de canalización al cuadro mediante soporte.*

Pasacables

Son elementos auxiliares que sirven para ajustar las posiciones de los cables y tubos lisos a través de los cuadros metálicos o aislantes. Los más habituales son:

- **En forma de cono con anillos concéntricos** para cortar según la medida deseada. Son de material de goma sintética, autoextinguibles, estancos al polvo y al agua, ofreciendo una solución económica y de sencillo montaje.
- **Planchas de plástico** que se introducen en la parte superior, inferior o laterales de la envolvente adaptándose perfectamente a los tubos lisos y cables que llegan, siendo mecanizadas fuera del cuadro realizando las perforaciones adecuadas.

Figura 4.45. *Pasacables en forma de cono. (Cortesía de Siemens.)*

Prensaestopas y racores

Cuando se necesite garantizar un IP adecuado a la instalación, se deben montar **prensaestopas**, que son piezas diseñadas para asegurar y fijar el extremo de los tubos por los que dicurren los cables al cuadro. Si se sujetan a los cables directamente, la presión que hace sobre estos, no produce tensiones que deterioren sus conexiones internas. Suelen ser de plástico, nailon, acero niquelado y siempre con una junta de goma para oprimir el tubo garantizando un IP68. En la parte del prensaestopas que se fija al cuadro, dispone de una rosca en la que se introduce una tuerca de fijación por el interior de la envolvente quedando perfectamente inmóvil a la que se la da el apriete sufiente para que quede estanco.

Figura 4.46. *Prensaestopas. (Cortesía de Siemens.)*

Los **racores** son piezas parecidas a los prensaestopas pero con gran resistencia a la tracción. Tienen rosca macho métrica para la fijación de tubos anillados de acero flexibles a las envolventes de los cuadros de maniobra de automatismos, cajas de protección de bornes de motores o similares. Los hay rectos y acodados a 45° o a 90°. Pueden ser de acero o de poliamida especial modificada, libres de halógenos, con gran resistencia al impacto y su montaje y desmontaje puede ser sin herramientas.

Figura 4.47. *Unión de tubo flexible mediante racores.*

Componentes de unión de cables para bandejas y canales protectoras

Cuando el sistema de instalación es mediante bandejas o canales protectoras (bandeja con tapa), se instalan piezas de unión entre el cuadro y las canalizaciones conservando el IP tanto del cuadro como de la canal protectora. En el caso de bandejas, los cables van directos al cuadro si se desea conservar el índice de protección necesario con piezas que los fabricantes incluyen para la adaptación. En otros casos, la bandeja o canal puede acometer directamente a la envolvente.

Bridas

Son tiras de poliamida o nailon lisas por una cara y con un dentado por la otra para hacer la función de cremallera al hacer un lazo al pasar un extremo por el otro, el cual tiene una cabeza con una pestaña que bloquea la tira de la brida para ajustarse con la presión adecuada y de forma irreversible. Se

utiliza para fijar cables, unir varios cables formando mazas y numerosas aplicaciones más en el interior de los cuadros para automatismos.

Si se utilizan en el exterior, se fabrican de nailon con negro de carbón para mantenerse en buen estado más tiempo, aunque estén sometidas a radiación ultravioleta.

Figura 4.48. *Ejemplo de utilización de bridas de plástico para mazos de cables.*

Abrazaderas DIN de canalización

Son piezas de plástico que se anclan al perfil DIN para introducir por ellas cables internos del cuadro. Permiten evacuar más calor que con canaleta, utilizándose generalmente cuando los conductores son de sección considerable y la temperatura ambiente es elevada.

Figura 4.49. *Abrazadera DIN para canalización de cables.*

Espirales

Son elementos muy prácticos para colocar y ordenar los cables en el interior cuando la maza de estos no es de tamaño importante. Se fabrican en diferentes medidas, pero si se ha de distribuir un gran número, es preferible utilizar canaletas, ya que para posibles manipulaciones o visualización de circuitos hay que quitar la espiral.

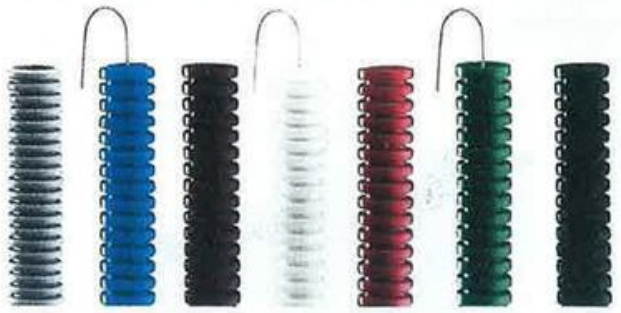


Figura 4.50. *Espirales para canalizar cables en los cuadros.*

Soportes para la fijación en pared

Son sistemas de sujeción al cuadro de forma mural. Dependiendo del peso del cuadro, los fabricantes dan instrucciones del método de instalación. Puede ser mediante la introducción de unos tacos especiales en la pared e introduciendo unos tirafondos o tornillos autoroscantes de métrica apropiada desde el fondo del cuadro avanzando hasta que la cabeza del mismo queda fija en la placa. Cuando el cuadro tiene un peso considerable, se colocan soportes específicos calculados por el fabricante de tal forma que mediante tornillería los soportes se fijan a la pared, y una vez fijados, se ancla el cuadro a dichos soportes.

Torretas elevadoras hexagonales

Son piezas metálicas que sirven para distanciar dos superficies, por ejemplo para alejarlas entre sí o bien para ganar espacio desde el fondo al frontal del cuadro y que puedan ser manipuladas las manetas de la aparamenta desde el exterior de las tapas.

Zócalos

Son elementos exteriores al cuadro que tienen como misión elevar el cuadro del suelo una determinada altura para evitar que se deteriore en caso de inundación, o para adaptar los cuadros de tipo cofre al suelo, dado que están pensados para una fijación en pared (empotrados o en superficie) y no tienen el peso y la profundidad suficiente para que queden lo suficientemente fijos apoyados en planos horizontales

4.5.2. Componentes eléctricos para el conexionado

Este tipo de componentes abarca los accesorios eléctricos que son conductores dispuestos en el interior de los cuadros. Su función principal, entre otras, es realizar las conexiones eléctricas de forma adecuada y reglamentaria para unir eléctricamente elementos del interior de la envolvente y el exterior al cuadro eléctrico como los receptores y otros cuadros

Aisladores

Son elementos de material de resinas sintéticas (epoxi, poliéster o fenólica), con la propiedad de ser termoestables (no se deforman con el calor, al contrario, se endurecen). Se utilizan en las barras de los cuadros industriales ya que son capaces de resistir esfuerzos de cortocircuito importantes, aislar tensiones entre distintas fases, neutro de los embarrados, entre estos y tierra o entre elementos de protección contra contactos directos como planchas de policarbonato delante de elementos que normalmente están en tensión. Además, son resistentes a los agentes químicos y condiciones adversas. Gracias a la gran resistencia y adherencia de este tipo de resinas sintéticas con los metales, se puede moldear con casquillos insertados sobre los que se acoplan herrajes para interruptores, seccionadores, cuadros e incluso transformadores.

Embarrados

Son también llamados barrajes o barras colectoras de distribución. Es el conjunto de los perfiles conductores escalados para distribuir el flujo general de energía eléctrica al armario eléctrico permitiendo que la caída de tensión sea muy reducida.

Cada uno de estos perfiles están formados por una sola pieza, sin soldaduras ni remachado. Son de sección rectangular y el material típicamente utilizado es de cobre electrolítico laminado y en menor medida de aluminio. En algunos casos, para protegerse de la corrosión en cuadros industriales con ambientes salinos, pueden estar cadmiados o de nuevos materiales certificados por los fabricantes.

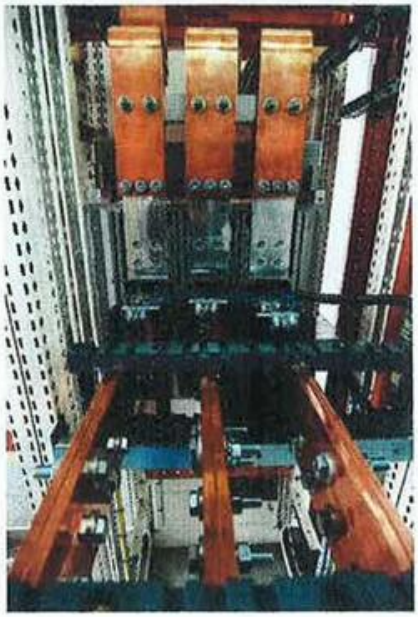


Figura 4.51. *Embarrado conectado a un interruptor general.*

En armarios generales y de distribución, al ser de grandes potencias, se suelen conectar sus conductores de entrada al interruptor general mediante terminales adecuados a la sección del cable, estando troquelada en dicho terminal la sección para la que están diseñados. Aguas abajo a este, se conecta mediante embarrados. Estas conexiones se realizan con numerosos tornillos, arandelas y tuercas firmemente apretados para evitar que por las vibraciones por efectos inductivos se aflojen y por tanto tener serios problemas de falsos contactos, sobrecalentamientos y las evidentes consecuencias que ello puede ocasionar como el incendio del cuadro.

Normalmente, los embarrados son trifásicos, instalándose cuatro barras, tres para las fases y una para el neutro distribuido. Las pletinas de fase tienen perforaciones para poder introducir tornillos y poder así realizar las conexiones con los bornes de conductores u otros perfiles de embarrado que conectan, por ejemplo, con el interruptor general u otros de gran potencia del armario. Todas **las pletinas del embarrado se separan una distancia de aislamiento** que depende del nivel de tensión que se tenga en la red mediante aisladores. El neutro se aisla respecto de tierra con el mismo nivel de aislamiento que entre las fases.

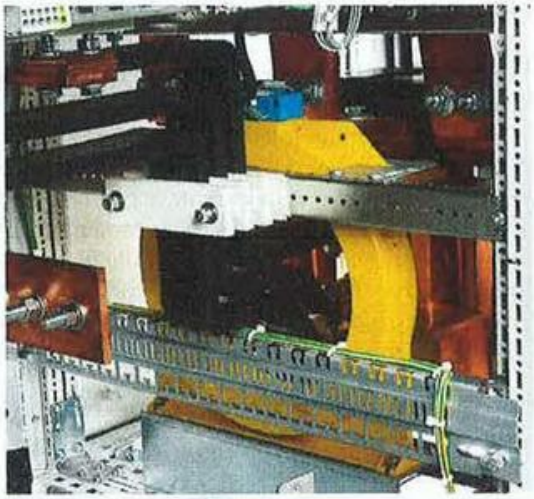


Figura 4.52. *Embarrado trifásico en el que se visualizan barras aisladas con termoretráctil, separación entre ellas, aisladores y toroide para la protección diferencial. (Cortesía de Siemens.)*

SABÍAS QUE

Los embarrados suelen tener los perfiles sin aislamiento, por lo que en tareas de mantenimiento e inspección hay que tener especial atención en comprobar la ausencia de tensión en caso de manipulación. Se pueden recubrir con un material termoretráctil aislante o elementos de protección para evitar contactos directos con el dorso de la mano, como es el caso de instalación de defensas aislantes y las blindobarras.

Existen básicamente dos tipos de embarrados, macizos y flexibles:

- **Barras macizas:** son aquellas constituidas de material conductor macizo de cobre electrolítico o aluminio que tienen perforaciones para el conexionado y son utilizados cuando los recorridos son rectos disponiéndose en horizontal, vertical o ambos en armarios generales o secundarios de tamaño medio.

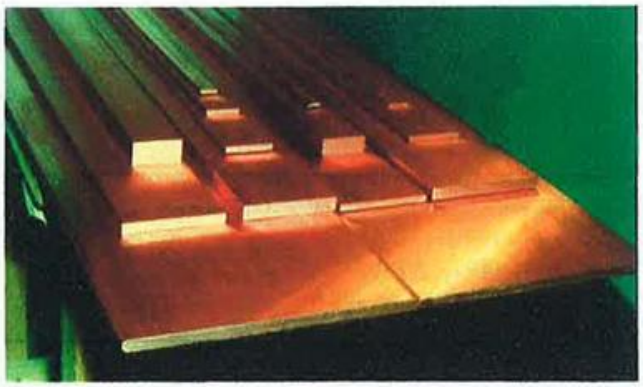


Figura 4.53. *Barras macizas de cobre electrolítico.*

- **Embarrados flexibles:** están formados por láminas conductoras apiladas, de cobre electrolítico con un revestimiento termoretráctil para compactarlas. Permiten utilizarse en conexiones que no están en el mismo plano, por ejemplo en bornas de la aparamenta como interruptores de caja moldeada, y por tanto necesitan una cierta curvatura, siendo imposible utilizar las barras macizas. Permiten ser reutilizados al retirarlos dado que se pueden estirar y quedar lisos para doblarlos de nuevo para otras conexiones.

Figura 4.54. *Embarrado de láminas flexibles.*

Para una correcta identificación de las fases, neutro y tierra de los embarrados, es fundamental tanto en barras aisladas o desnudas indicar mediante rotulación o pintura en los puntos de conexión su designación de la forma siguiente:

- L1, L2 y L3 para las fases con color negro, marrón y gris respectivamente.
- N para neutro con color azul.
- PE o símbolo de toma de tierra para conductor o barra de protección con color verde-amarillo.

Hay diversas formas de instalar el embarrado en los cuadros eléctricos para automatismos. Se distinguen los siguientes métodos:

- **En vertical al fondo del armario:** consiste en fijar las barras en el fondo del armario sujetas mediante soportes aislantes que van unidos a la estructura. Se ponen aisladores para evitar contactos con otras partes metálicas.
- **En horizontal:** es uno de los sistemas más utilizados en cuadros generales. Se instalan las barras en la parte superior o inferior separadas mediante aisladores.
- **En vertical y horizontal:** en este caso se ponen en vertical y horizontal sujetándose otras barras en ángulo recto para conectar los equipos.
- **Lateral:** se ubican en compartimentos específicos, normalmente con una puerta única para acceder a esta zona del cuadro. Suelen ser barras de reducidas dimensiones en comparación a los anteriores, con múltiples taladros equidistantes **repartiéndose los cables de los circuitos a los dispositivos** situados en la zona central del armario. Son muy utilizados en cuadros medianos y grandes. En caso de armarios de amplias dimensiones, hay que tener en cuenta que con esta disposición, se aumenta el tamaño del cuadro y por tanto se ha de disponer el espacio suficiente para ello.

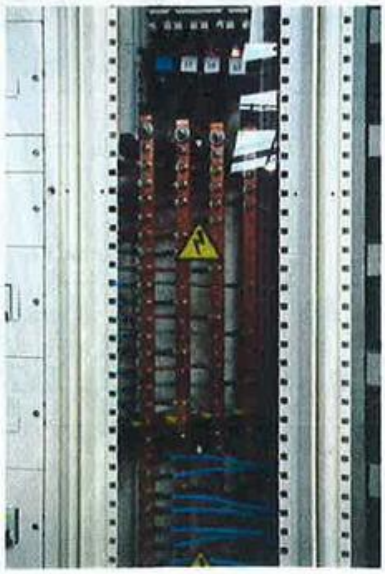


Figura 4.55. *Disposición de embarrado en compartimento lateral.*

Las secciones del embarrado se calculan según la **intensidad nominal** que circule por ellas, siendo cálculos diferentes las secciones de los cables que llegan y salen del armario. Los valores de intensidad pueden ser **hasta 4.000 amperios por barra.**

Tabla 4.4. Dimensiones normalizadas de los embarrados de baja tensión e intensidad máxima admisible para los mismos (embarrados de cobre a 35 °C).

Altura × Espesor	Sección transversal del embarrado (Cu)	Corriente de empleo
mm × mm	mm²	A
12 × 2	23,5	144
15 × 2	29,5	170
15 × 3	44,5	215
20 × 2	39,5	215
20 × 3	59,5	271
20 × 5	99,1	364
20 × 10	199	568
25 × 5	124	435
30 × 5	149	504
30 × 10	299	762
40 × 5	199	641
40 × 10	399	951
50 × 5	249	775
50 × 10	499	1.133
60 × 5	299	915
60 × 10	599	1.310
80 × 5	399	1.170
80 × 10	799	1.649
100 × 5	499	1.436
100 × 10	999	1.982
120 × 10	1.200	2.314

Peines

Los puentes para conectar la aparamenta en cuadros de notable tamaño resultan confusos para ver a simple vista sus conexiones si se realizan con cables. Para evitarlo, se utilizan elementos de conexión llamados peines en cuyo interior tienen pletinas de cobre con salientes mecanizados y separados la distancia exacta para conectar a los bornes de los interruptores automáticos y diferenciales para realizar las conexiones.

Figura 4.56. *Peine bipolar. (Cortesía de Siemens.)*

De esta forma, si se desea extraer un aparato del cuadro, se puede realizar con tensión y sin dejar de alimentar a los adyacentes, ya que el peine tiene aislamiento en la parte superior y lateral, siendo la pieza de cobre del peine rígida.

En el mercado se ofrecen peines de un solo polo (monofásicos) o de varios, constituyendo una sola pieza (de tres y cuatro polos para sistemas trifásicos). Se fabrican en diferentes longitudes cortándose a la medida deseada con una sierra en función del número de elementos a conectar. Existen soluciones incluso para interruptores de caja moldeada para su conexionado al embarrado general (hasta 1.600 A).

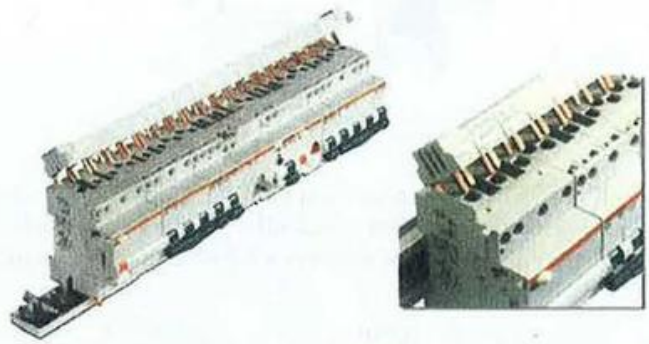


Figura 4.57. *Detalle de un peine trifásico. (Cortesía de Schneider Electric.)*

Al instalar los peines, hay que tener especial atención en fijarse que tengan la **misma intensidad nominal o superior** indicada por el fabricante que la que es capaz de limitar el **interruptor automático del grupo de aparatos que alimenta.**

Regleteros

Los regleteros son bornes de conexión que normalmente van fijados a los carriles tipo DIN mediante pestañas. Son de material aislante. Pueden ser unipolares o estar constituidos por un conjunto de regletas formando módulos con tabiques situados en los laterales, y en algunos casos con topes para evitar deslizamientos sobre los carriles normalizados. Todos ellos se fabrican en diferentes colores para identificar las fases (negro, marrón y gris), el neutro (azul) y de protección

(PE, verde amarillo). Los conductores se fijan por la parte frontal según se monta el cuadro, siendo preferible el uso de punteras en el cable para una correcta conexión mediante tornillos situados en la parte superior de las regletas.

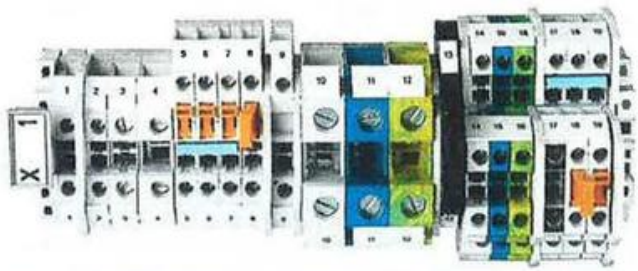


Figura 4.58. *Regletero. (Cortesía de Siemens.)*

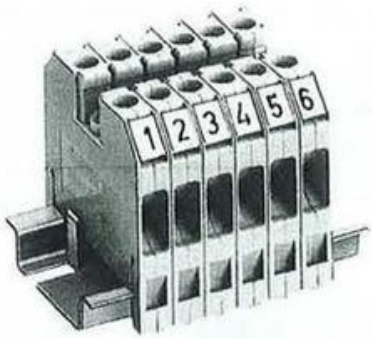


Figura 4.59. *Detalle de fijación de regletero con carril DIN.*

Es necesario utilizar los regleteros del tamaño adecuado a la sección de conductor a atornillar ya que están diseñados para una intensidad máxima admisible que en ningún caso se ha de superar.

Las regletas se identifican en el regletero en la zona central mediante etiquetas intercambiables de plástico o rotulación indeleble. Han de estar exactamente igual de marcados que en los planos de representación de automatismos, para que exista trazabilidad y poder identificarlos fácimente en las tareas de instalación y mantenimiento con la siguiente denominación: X_n, en donde X corresponde a la abreviatura de borna y n indica el número de borna que corresponde en el cuadro de automatismos industriales.

Borneros y terminales de conexión

Son piezas unipolares para unir derivaciones de conductores con secciones iguales o inferiores a la línea principal de conexión. Se emplean en cuadros de automatismos para unir los conductores de protección de los diferentes circuitos a la línea general de protección.

En los armarios se suelen instalar borneros que se acoplan a los carriles DIN o en bases específicas, mientras que los cuadros pequeños utilizan piezas metálicas con un orificio para introducir los conductores generalmente de tierra con la parte superior roscada para poner un tornillo con superficie importante efectuando la presión necesaria a los conductores.

Figura 4.60. *Borne de conexión.*

Pueden ir a unos conectores que van unidos a una barra conductora unida a un punto de conexión común como la línea principal de tierra.

Figura 4.61. *Embarrado general de tierra de un cuadro eléctrico. (Cortesía de Siemens.)*

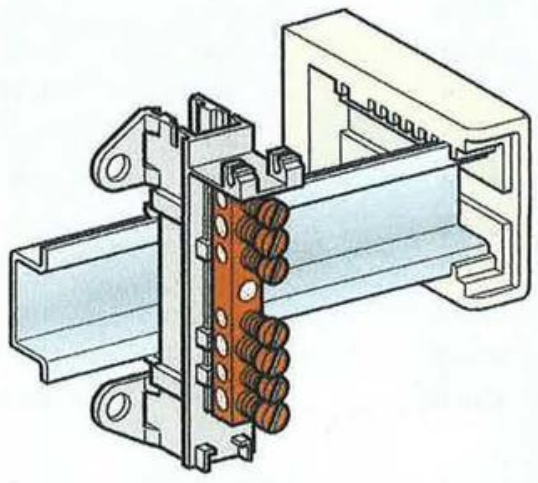


Figura 4.62. *Borne de conexión de tierra fijado en carril DIN.*

Cubrebornes

Son piezas de material aislante que se colocan en los bornes unipolares para evitar contactos directos con partes metálicas.

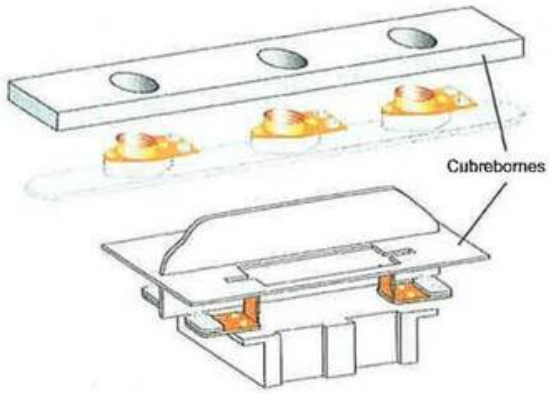


Figura 4.63. *Cubrebornes.*

Repartidores

A los cuadros de tamaño pequeño y mediano les llega la alimentación al interruptor general y su salida, se suele conectar a un repartidor, que es un pequeño embarrado en el que las barras están ordenadas escalonadamente y con numerosos taladros o bases enchufables para conectar circuitos mediante tornillos y así distribuir los diferentes circuitos desde estas pletinas sujetas mediante soportes aislantes.

Figura 4.64. *Repartidor de circuitos para una intensidad máxima de 125 A por fase. (Cortesía de Siemens.)*

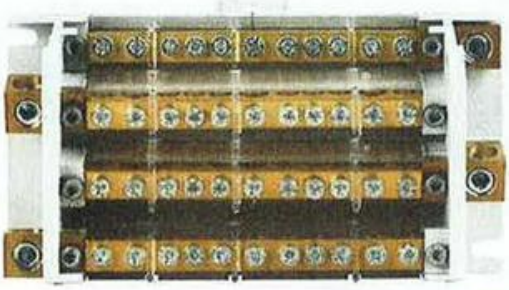


Figura 4.65. *Detalle de la protección contra contactos directos y barraje de cada una de las fases y neutro de un repartidor. (Cortesía de Siemens.)*

Los que tienen bases enchufables se instalan en perfiles normalizados tipo DIN. Los conductores son de inserción rápida, no siendo necesario el uso de tornillos. De apariencia son parecidos a los regleteros. Se puede conectar un solo conductor por orificio con puntera si es flexible o directamente si es rígido.

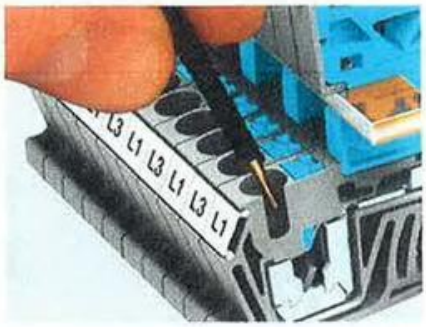


Figura 4.66. *Detalle de conexión en un repartidor de bases enchufables.*

SABÍAS QUE

Los bornes de conexión rápida proceden del sector de las telecomunicaciones y la electrónica. Aseguran un contacto seguro sin extraer el aislamiento del cable, sin tornillería ni herramientas.

Terminales para conductores

Los terminales sirven para que la conexión sea óptima en los bornes de los aparatos y en las superficies de contacto en los embarrados. Los terminales de secciones considerables se graban en ellos la sección para la que han sido diseñados, y en los pequeños mediante un código de colores establecido.

Los hay de diferentes formas, siendo los más habituales:

- **Tipo ojal:** son los terminales más usados en circuitos de potencia que realizan sus conexiones en embarrados. Son **planos por ambas caras y en el centro tienen un orificio** por el que se hace pasar un tornillo con arandela adecuada para establecer contacto con otra superficie plana como las barras. Cuando las conexiones son de Al-Cu hay que emplear los bimetálicos.

Figura 4.67. *Terminales redondos de tipo ojal.*

Figura 4.68. *Terminales rectangulares de cobre de tipo ojal.*

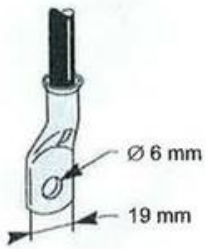


Figura 4.69. *Detalle de medidas de terminal de ojal M6.*

- **Tipo U:** son parecidos a los de ojal, pero tienen recortada la parte frontal, teniendo forma de horquilla. Son muy prácticos ya que no es necesario retirar el tornillo por completo para su extracción y pueden disponer de preaislamiento.
- **Tipo lengüeta:** de forma rectangular, normalmente de 0,6 × 0,8 mm de anchura y espesor para conectar en ellos conductores, disponiendo de terminales para diferentes secciones que van de 0,5 a 6 mm². Pueden tener preaislamiento.
- **Tipo enchufables o Faston:** acoplan a una superficie plana como a los terminales de lengüetas. Se debe tener en cuenta la sección del conductor y las dimensiones del enchufe para conectarlo a la lengüeta. Se comercializan en las mismas anchuras y secciones que los anteriores. Se usan en equipos que utilizan principalmente electrónica. Pueden tener preaislamiento de fábrica o fundas de silicona para asegurar el aislamiento.

Figura 4.70. *Conectores de lengüeta y enchufables o Faston.*

- **Tipo punta preaislados:** son similares a las punteras, pero estos no comprimen el conductor con la boquilla del terminal. Son muy prácticos dado que son para secciones pequeñas (desde 0,25 a 6 mm²) para circuitos de automatización en cuadros industriales.
- **Tipo empalme o manguitos:** son terminales que se utilizan como empalmes, teniendo una longitud mayor que un terminal y normalmente preaislado de punta a punta aunque también los hay sin aislamiento. Además de la longitud total, es importante tener en consideración la de contacto por cimprado entre ambos cables. Se utiliza en conexiones que por averías circunstanciales se hacen empalmes de conductores de idéntica sección cuando no hay espacio amplio, teniendo que canalizar un nuevo cable lo antes posible.

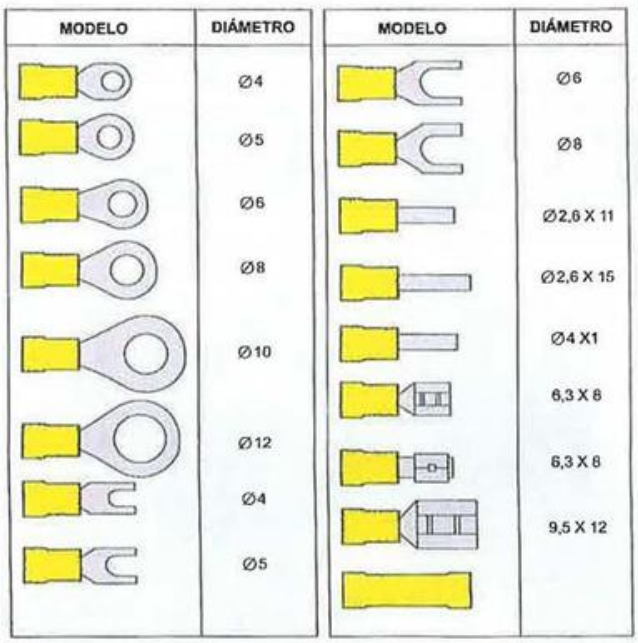


Figura 4.71. *Terminales preaislados de uso común.*

Cuando **el conductor es de aluminio** y se conecta con un equipo, aparato o máquina eléctrica **con bornes de cobre** o viceversa, es necesario **instalar arandelas y terminales bimetálicos**, los cuales establecen conexión entre la parte de aluminio con la de cobre evitando la corrosión galvánica y haciendo la conexión adecuada y eficaz.

Figura 4.72. *Terminal bimetálico.*

SABÍAS QUE

Las arandelas y terminales bimetálicos (Cu-Al) son capaces de evitar la pérdida de propiedades eléctricas de ambos metales, ya que se sueldan por explosión (soldadura aluminotérmica) uniendo la superficie de cobre y aluminio a niveles moleculares sin existencia de electrolito que produzca corrosión galvánica.

Punteras

También llamadas casquillos. Son terminaciones de cobre estañado que pueden ser desnudos o preaislados con aislantes como la poliamida y el polipropileno. Las cabezas por donde se introduce el conductor para posteriormente presionarlas por engaste o crimpado pueden tener forma cilíndrica o rectangular. En el primer caso, es para un solo conductor, y en el segundo para dos, utilizándose por ejemplo en puentes de la aparamenta.

Figura 4.73. *Punteras para diferentes secciones de conductor según su color.*

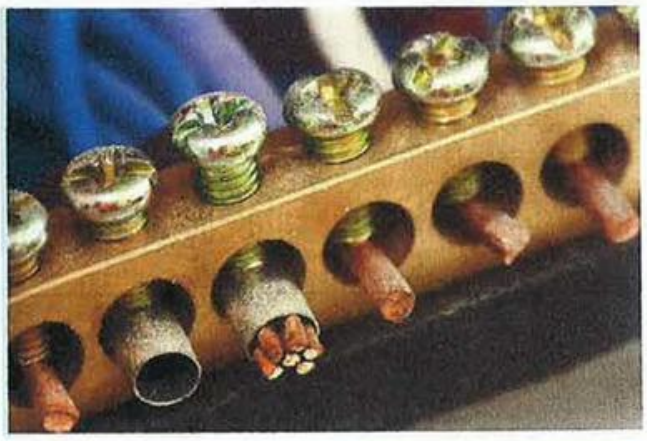
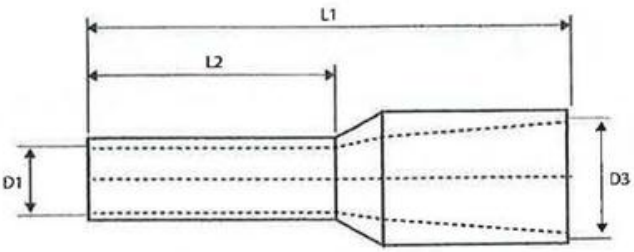


Figura 4.74. *Detalle en el que se observa la diferencia de la superficie de contacto en uniones roscadas con y sin punteras.*



	Cable mm²	Color	Dimensiones			
			L1	L2	D1	D3
	0,50	Blanco	14,0	8,0	1,0	2,6
	0,75	Azul	14,6	8,2	1,2	2,8
	1	Rojo	14,6	8,2	1,4	3,0
	1,50	Negro	14,6	8,2	1,7	3,5
	2,50	Gris	15,2	8,2	2,2	4,0
	4	Naranja	16,5	9,0	2,8	4,4
	6	Verde	20,0	12,0	3,5	6,3
	10	Marrón	21,5	12,0	4,5	7,6
	16	Marfil	28,2	12,0	5,8	8,8
	25	Negro	29,0	16,0	7,3	11,2
	35	Rojo	30,0	16,0	8,3	12,5
	50	Azul	36,0	19,0	10,3	15,0

Figura 4.75. *Color de las punteras en función de la sección del conductor.*

RECUERDA

Todas las conexiones con fijación por tornillo se aflojan con el tiempo. Es imprescindible realizar un correcto mantenimiento de las instalaciones apretando las bornas de conexión para asegurarse que las conexiones son fiables y seguras.

4.5.3. Otros accesorios y componentes

Para el correcto funcionamiento de los componentes internos del cuadro, identificación y elementos auxiliares, se dota a los cuadros de los siguientes accesorios entre otros.

Extractores

Los extractores son ventiladores que se ubican en las rejillas de los cuadros cuando se requiera una extracción forzada del aire caliente interior debido a pérdidas en forma de calor de los aparatos eléctricos de grandes potencias. Cuando se necesita mantener un IP determinado y/o el armario está situado en lugares en condiciones adversas, se suele introducir filtros para evitar la inserción de partículas en el interior del cuadro.

Figura 4.76. *Ventilador en la parte superior de un cuadro eléctrico.*

Alumbrado

Cuando se instalan armarios de dimensiones importantes tanto de potencia como de control para automatismos industriales, se debe prever alumbrado en el interior del cuadro para poder tener iluminación suficiente y así poder realizar tareas de mantenimiento, reparación e inspección.

Es obligatorio disponer de alumbrado de emergencia en el cuadro en caso de fallo de suministro eléctrico, por disparo de algún interruptor magnetotérmico o diferencial producido por sobrecargas, cortocircuitos o derivación en el circuito de alumbrado del cuarto técnico donde esté ubicado el cuadro.

Accesorios de rotulación y portaplanos

Una vez montado el cuadro y antes de dejarlo listo para poner en servicio, se ha de rotular el cuadro indicando a qué pertenece cada circuito para que la identificación sea clara y rápida. Para ello, los fabricantes de cuadros tienen portaetiquetas o placas para serigrafiar los nombres a los que se da suministro en cada aparato colocándose en las tapas. Estas placas están construidas con dos láminas, una negra y otra blanca. Mediante perforación de la placa negra se queda grabado el nombre que se desee y la parte blanca se une a la tapa del cuadro en el lugar correspondiente.

De forma alternativa, se puede rotular el cuadro con impresoras para etiquetas o similar.

El fabricante del cuadro aporta al cliente las características técnicas como los esquemas unifilares, despiece, conformidad del cuadro según las normas requeridas e información importante para el usuario. Los armarios grandes con puertas disponen de un soporte para guardar toda esta documentación y que cualquier persona autorizada acceda a dicha información.

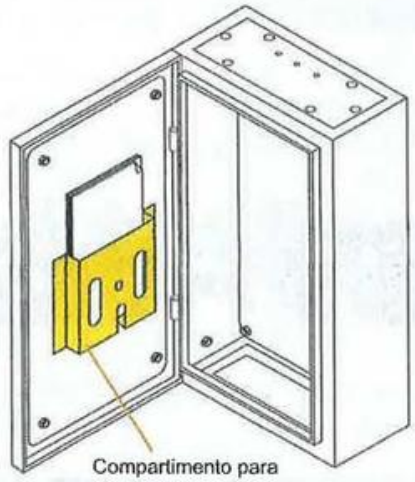


Figura 4.77. *Portaplanos en la parte interior de la puerta.*

4.6. Ventilación, calefacción y deshumidificación de cuadros eléctricos

Los cuadros eléctricos son susceptibles a su deterioro si no se instalan de forma adecuada en especial a sus condiciones ambientales. Si estas condiciones son desfavorables para la durabilidad de la aparamenta y material eléctrico en gene-

ral, ya sea por trabajar a temperaturas extremadamente altas o bajas, es necesario disponer de medios para evitar los problemas que se pueden generar y ocasionar el prematuro envejecimiento del mismo y su aparamenta.

En climas con altas temperaturas, se producen **calentamientos** de los equipos del interior del cuadro provocando averías sin posible reparación e incluso incendiarse por sobrecargas por un mal diseño de la aparamenta y una incorrecta ventilación del cuadro.

Si, por el contrario, los cuadros se instalan en zonas con temperaturas muy bajas, se producen **condensaciones** e incluso formación de hielo al crearse cambios de estado del agua en el interior, provocando el incorrecto funcionamiento de los equipos y aparamenta eléctrica.

Se hace necesario disponer de ventilación (natural o forzada) en el caso que los cuadros se instalen en locales cálidos o de resistencias de caldeo, y deshumificadores en aquellos donde existan bajas temperaturas y alto porcentaje de humedad relativa en el aire.

SABÍAS QUE

Ventilar es hacer circular el aire por un lugar cerrado, climatizar es proporcionar a un recinto las condiciones necesarias para obtener la temperatura, humedad de aire, etc., convenientes para la salud o la comodidad de sus ocupantes y refrigerar es hacer más fría una habitación u otra cosa por medios artificiales.

4.6.1. Ventilación natural

Es el método más económico para conseguir evacuar el aire caliente del interior del cuadro y conseguir que disminuya la temperatura por convección del aire. Dado que el aire caliente en la parte inferior de un recinto asciende naturalmente, quedando el aire frío en la parte inferior (al igual que sucede en las viviendas, o cuando un globo aerostático se eleva), si se realizan perforaciones en forma de rejillas en la parte inferior y superior del cuadro en caras opuestas (también se dice que están enfrentadas), se produce un flujo de aire en su interior de tal forma que se ventila el cuadro y además se renueva el aire continuamente. Dado que este sistema de ventilación no absorbe energía adicional para su funcionamiento, se denomina sistema pasivo.

En caso que sea necesario aumentar la superficie de las perforaciones, en los armarios se instalan, en la parte superior, un accesorio denominado techo de ventilación, y en la parte inferiror, una tapa de ventilación, que son moldes prefabricados con aberturas y así tener más área para que el cuadro aspire aire y lo expulse.

En caso que sea necesario, a nivel reglamentario o por mantenimiento preventivo con un grado de protección IP determinado, se instalan filtros diseñados para este fin en techos y tapas.

4.6.2. Ventilación forzada

Cuando no se puede evitar ubicar el cuadro eléctrico en un local donde la temperatura sea elevada y por las dimensiones del cuadro o la potencia a distribuir estas sean elevadas, a veces no es suficiente la ventilación natural. En ocasiones ocurre que la temperatura no es excesiva, pero sí es elevada para los equipos electrónicos, produciendo funcionamientos incorrectos e incluso el deterioro total de este tipo de aparatos.

En estos casos, se debe instalar sistemas de ventilación activos, generalmente por medio de ventiladores, y en casos más especiales, como es el caso de los CPD (centros de procesamiento de datos) donde existen además servidores, etc., se procede a refrigerar toda la sala o local donde están inmersos los *racks*, cuadros, etc. En el caso de utilizar ventiladores de extracción para provocar la ventilación, los consumos de potencia de este tipo de motores son muy bajos, pero en caso de refrigerar locales técnicos, se encarece considerablemente el mantenimiento dado el elevado coste energético necesario.

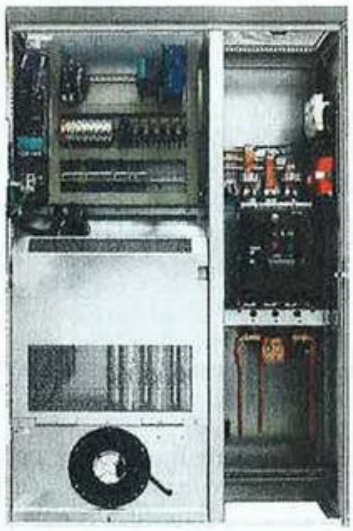


Figura 4.78. *Ventilación forzada en la parte inferior izquierda de un armario eléctrico.*

4.6.3. Calefacción de cuadros eléctricos

En lugares donde los cuadros eléctricos se instalan con humedades relativas altas, es necesario disponer de equipos para calentar el mismo mediante resistencias de caldeo. Con este sistema se consigue mantener una temperatura

determinada para evitar condensaciones y formación de gotas de agua perjudiciales para los elementos del cuadro y en especial la electrónica de las placas que utilizan algunos equipos, como analizadores de redes, controladores lógicos programables, etc. En las cabinas de alta tensión donde las condiciones de instalación pueden ser lugares fríos, se instalan este tipo de resistencias para evitar que los cables aislados pierdan propiedades dieléctricas y se produzcan defectos generando arcos por falta de aislamiento.

4.6.4. Termostatos y deshumidificantes para cuadros eléctricos

El mercado de material eléctrico dispone de equipos de reducidas dimensiones, para controlar el calor y frío en el interior del cuadro. Son de gran precisión y actúan sobre la extracción forzada, sobre la resistencia de caldeo o ambas para un control total de la temperatura y así mantenerla constante en el interior del cuadro, debido a que hay equipos como los autómatas programables que son sensibles a las variaciones térmicas y de esta forma mantener en su interior una temperatura homogénea.

Figura 4.79. *Termostatos para control de temperatura de cuadros de automatismos industriales.*

Además, los fabricantes de cuadros y los especializados en climatización disponen de productos adecuados para regular automáticamente la humedad en el interior mediante higrostatos. Estos equipos hacen funcionar al ventilador si la temperatura es elevada o activan la resistencia de caldeo si detectan un nivel determinado de humedad dentro del cuadro. Suelen tener protección IP20.

RECUERDA

Las rejillas de ventilación existen tanto en sistemas de ventilación natural como forzada.

4.7. Ensamblado de cuadros para automatismos industriales

A la hora de realizar el correcto montaje de un cuadro eléctrico, siempre se han de seguir las instrucciones del fabricante. Para ello, se han de tener en cuenta los siguientes pasos:

1. **Acopio de los materiales y piezas a emplear.**
2. **Montar la estructura del cuadro** que será la base para poder ubicar dentro de él todos los componentes necesarios. Si es de material aislante no necesita ensamblaje de la envolvente, pero sí se debe montar en ella el chasis mediante perfiles o directamente instalar una placa en bruto, premecanizada o con perforaciones corporativas para ubicar en ella los elementos necesarios.

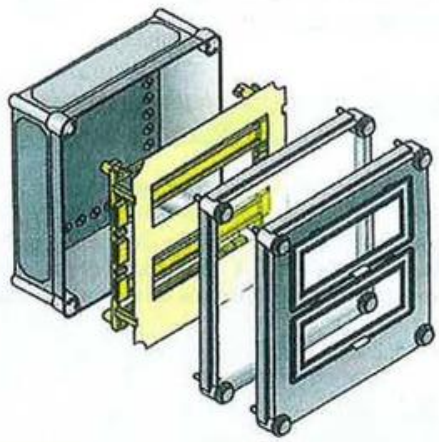


Figura 4.80. *Partes de la envolvente de la estructura de un cuadro. (Cortesía de Siemens.)*

3. **Poner el armazón o envolvente en posición horizontal** sobre una mesa adecuada en el caso de cuadros pequeños y medianos para poder trabajar adecuadamente sin que el cuadrista se vea forzado en posiciones incómodas. No se debe poner las puertas ni las placas laterales de la envolvente, para que el cableado quede despejado.
4. **Instalar la aparamenta siempre desde el centro del cuadro hacia fuera.** Antes de ello ha de estar pensado dónde irán alojados todos los componentes y elementos del cuadro teniendo en cuenta que se deben distribuir uniformemente para facilitar el uso o reparación de la aparamenta. En cuadros de grandes dimensiones, como armarios o conjuntos de ellos, se ha de tener en cuenta:
   - La ubicación de los interruptores automáticos. Se han de instalar de tal forma que **los recorridos**

por donde circulen intensidades de valores elevados sean lo más cortos posible, ya que es donde más energía se pierde en forma de calor por efecto Joule.

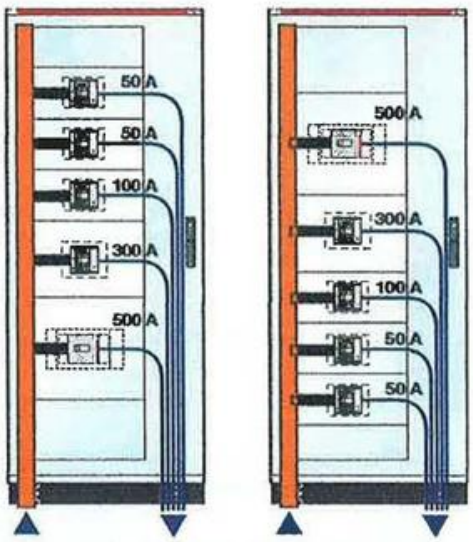


Figura 4.81. *A la izquierda, instalación aconsejada, el recorrido en el embarrado y en cables de mayor intensidad es menor. A la derecha, instalación desaconsejada, el recorrido en el embarrado y cables de mayor intensidade es mayor. (Cortesía de ABB.)*

- En caso que esté formado por un conjunto de armarios, **el interruptor automático general ha de situarse en la zona central**. El objetivo es intentar en la medida de lo posible minimizar el recorrido con la sección de embarrado con mayor intensidad que se bifurcará en las dos ramas del cuadro utilizando barras de menor sección, economizando el coste del cuadro.

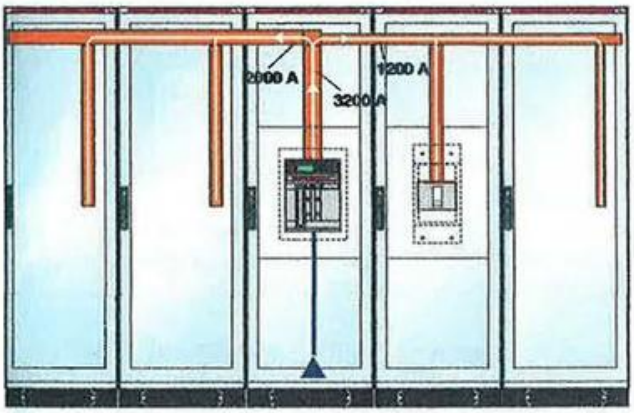


Figura 4.82. *El embarrado principal se dimensiona para una intensidad máxima de 2.000 A y por tanto supone un importante ahorro en sección de barras. (Cortesía de ABB.)*

Actividad propuesta 4.4

a) Justifica las desventajas que tiene relizar recorridos más largos de lo necesario en embarrados de altas intensidades.

b) En el cuadro de la Figura 4.82, indica qué ocurriría si el interruptor automático general se ubica en el armario del extremo izquierdo.

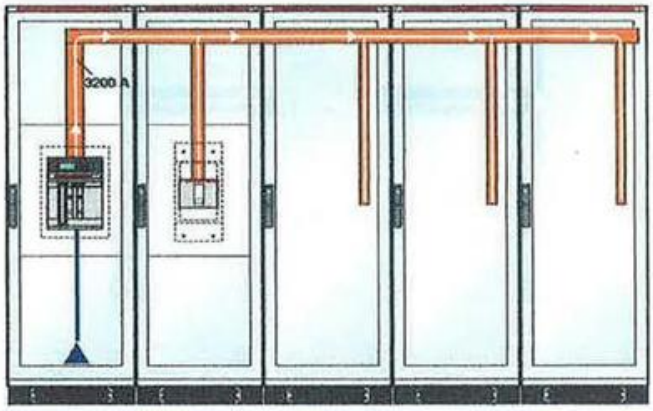
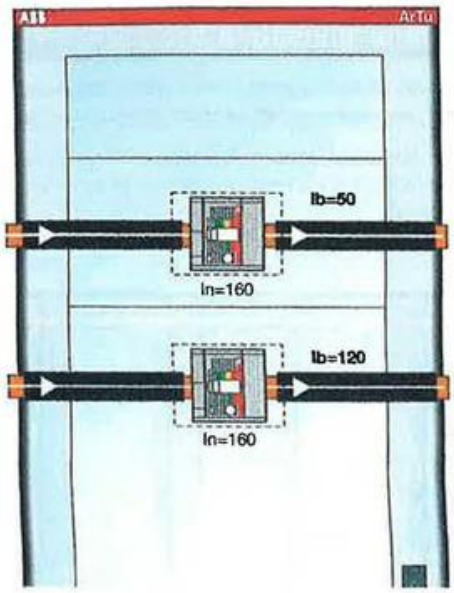


Figura 4.83. *En este caso, el embarrado principal de distribución se ha de dimensionar para 3.000 A, no estando adecuadamente optimizado al tener las mismas prestaciones que el cuadro anterior. (Cortesía de ABB.)*

- Se debe **ir conexionando los cables paulatinamente y situar el cableado adecuadamente** en las canaletas y bridas, así como elementos de fijación adecuados, quedando perfectamente ordenado, respetando las condiciones mínimas de aislamiento entre todas las zonas en tensión y masas metálicas que normalmente no están en tensión pero que pueden estarlo en caso de defecto.
- En armarios y grandes cuadros de distribución **se debe instalar en la parte inferior los aparatos de mayor intensidad nominal, como los interruptores automáticos de caja moldeada y de bastidor abierto.** Esto se debe a que por convección, el calor sube a la parte superior del cuadro, quedando a temperaturas más bajas las partes inferiores. Por tanto, los aparatos que están cercanos a trabajar a plena carga se deben situar en zonas con menor temperatura que los que están alejados de su intensidad nominal en la parte superior.

RECUERDA

Los grandes interruptores generales de tipo caja moldeada o bastidor abierto son regulables y por tanto antes de su energización se ha de regular de tal forma que la intensidad máxima sea inferior a la admisible por los cables.



gura 4.84. *Situación de interruptores automáticos según sea la carga áxima prevista respecto a sus intensidades nominales. (Cortesía de ABB.)*

- **Se aconseja instalar terminales verticales, pudiendo doblarse las barras correctamente,** ya que facilitan el flujo de circulación de aire por convección, disipando mayor energía. En todo caso no se ha de dificultar el flujo de aire hacia los terminales de la parte superior de los interruptores automáticos.

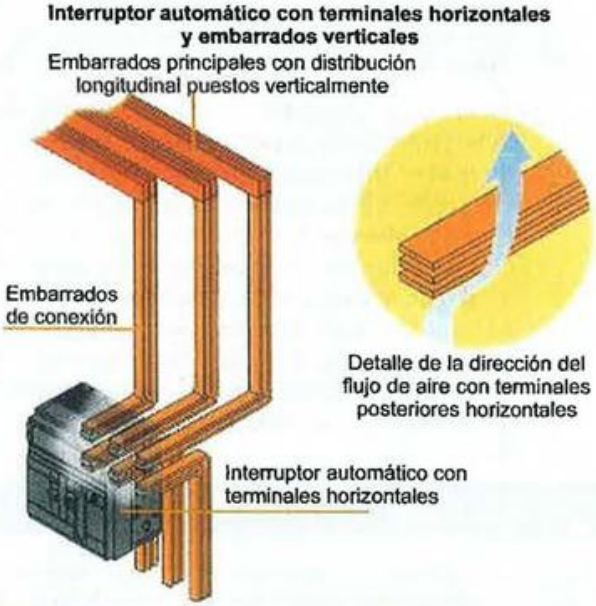


Figura 4.85. *Bornes interruptores automáticos con terminales horizontales y embarrados verticales. (Cortesía de ABB.)*

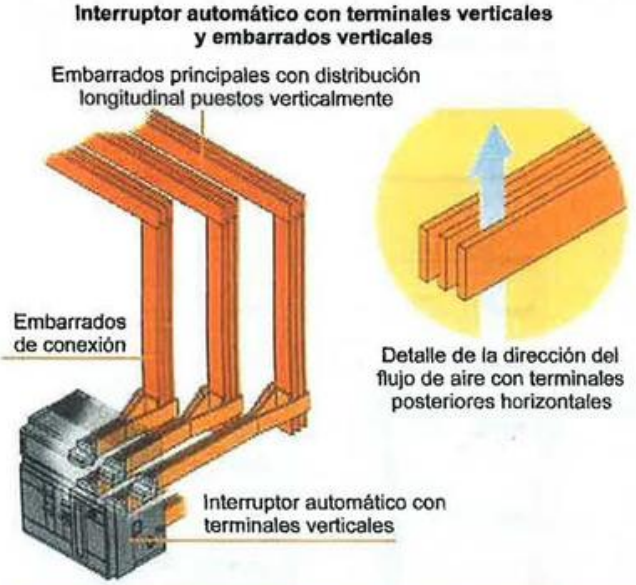


Figura 4.86. *Bornes interruptores automáticos con terminales verticales y embarrados principales verticales. (Cortesía de ABB.)*

- **Las barras de los embarrados y entre estos debe alejarse lo máximo posible** ya que a mayor distancia, mejor es la disipación de calor, siendo el terminal central de los interruptores el que más daño térmico soporta. Para evitarlo se puede incrementar esta distancia desplazando las barras laterales.

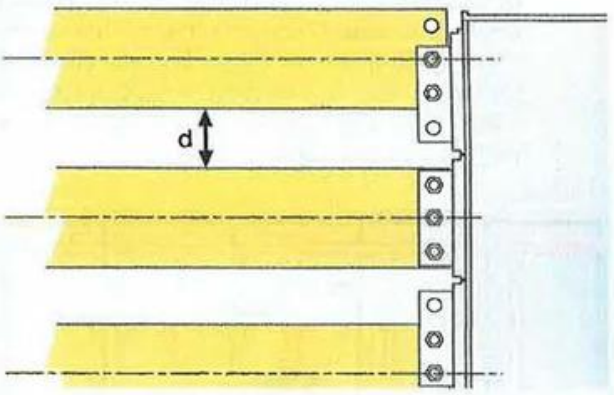


Figura 4.87. *Separación de barras en un interruptor automático. Para evitar perder superficie de contacto, existen tramos acodados para aumentar la distancia en el embarrado. (Cortesía de ABB.)*

- Todos los aparatos y grandes embarrados deben estar **perfectamente dimensionados y sujetos firmemente al armazón** del cuadro, ya **que en caso de cortocircuito se producen importantes fuerzas electrodinámicas,** ocasionando el deterioro del interior de los equipos si no son de las

características necesarias y de los bornes en caso que la fijación no sea suficiente.

- **La separación entre interruptores ha de ser adecuada,** que según la norma IEC-61439-1 la debe indicar el fabricante de la aparamenta.

5. **Una vez están montados todos los elementos internos** del cuadro, se debe **poner los paneles laterales, posteriores y superiores**. Nunca se debe exceder la carga máxima admisible de los paneles indicada por el fabricante.
6. **Colocar las puertas, y siempre sin cargar más de lo necesario**, ya que se pueden producir fricciones excesivas en las bisagras.
7. **Una vez finalizado,** el cuadro **se levanta** poniéndolo vertical, y en caso de ser necesario **transportarlo o simplemente moverlo**, se ha de realizar mediante los **anclajes y forma de transporte indicada por el fabricante**. Hay que tener especial atención en grandes cuadros de potencia de automatismos, ya que las uniones entre diferentes armarios producen fuertes tensiones mecánicas

Actividad resuelta 4.2

Indica una ventaja adicional de instalar los grandes interruptores automáticos en la parte inferior del cuadro.

Solución:

Debido a que son los elementos con mayor peso, se consigue que el centro de gravedad se sitúe en la parte inferior del cuadro, bajando el centro de gravedad lo máximo posible aportando estabilidad al cuadro. Es similar a los coches de carreras de Fórmula 1 o cualquier vehículo deportivo en los que se busca evitar que vuelque.

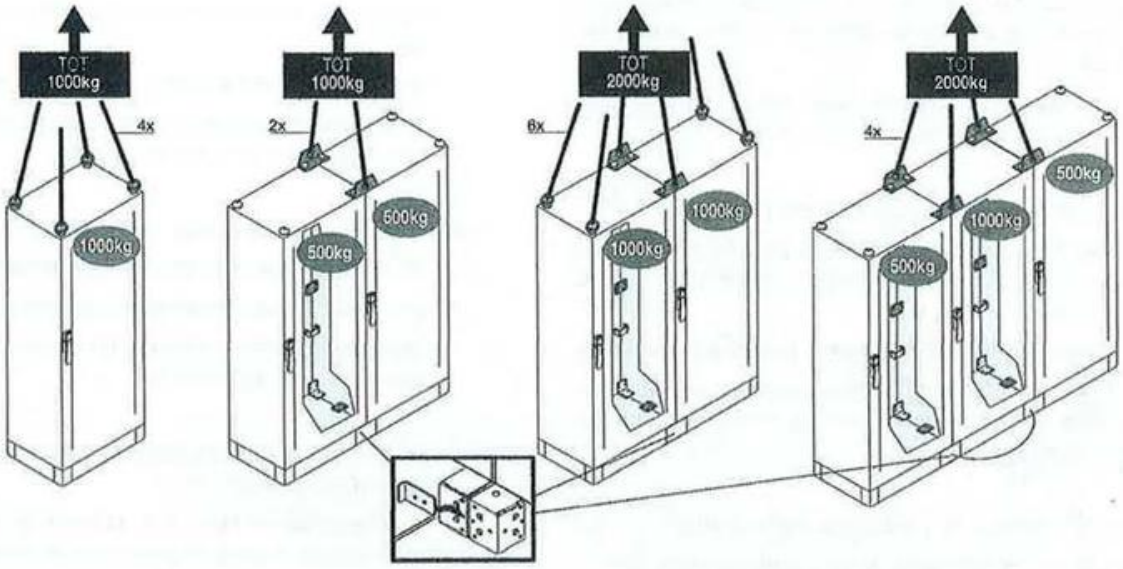


Figura 4.88. *Carga y transporte correcto de diferentes tipos de armarios de automatismos. (Cortesía de ABB.)*

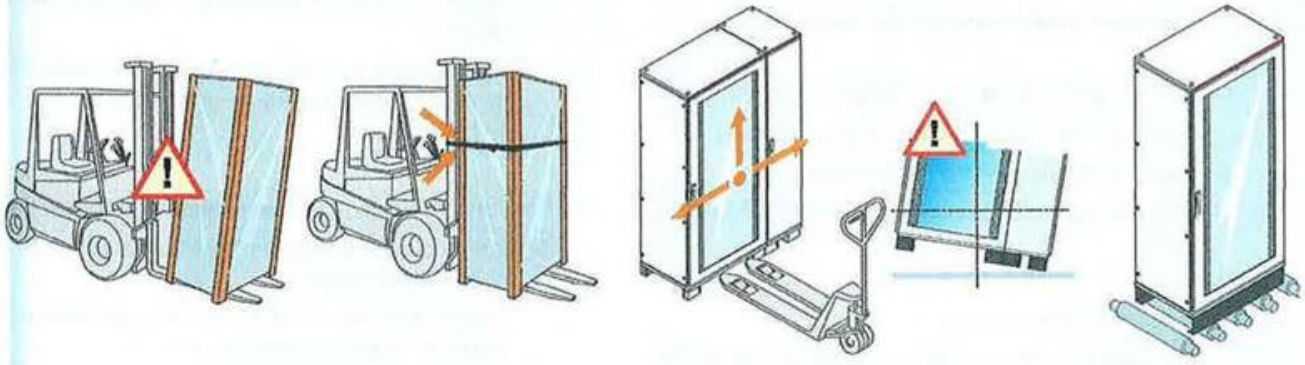


Figura 4.89. *Formas de transportar armarios para automatismos. (Cortesía de ABB.)*

Actividades de comprobación

4.1. La envolvente de un cuadro ha de:

a) Proteger los elementos internos de tal forma que sea difícil desmontar los revestimientos y tapas para evitar además contactos directos.

b) Proteger de los elementos ubicados en su interior, facilitar el mantenimiento de sus componentes internos y ha de tener un tamaño adecuado.

c) Tener grandes rejillas de ventilación, ya que en todos los cuadros se disipa mucha energía.

4.2. La norma UNE 61439 considera:

a) Que los cuadros no los pueden montar los instaladores sino el fabricante original.

b) Los cuadros los pueden montar los instaladores y cuadristas considerándose fabricantes finales del cuadro.

c) El instalador o cuadrista debe realizar verificaciones de diseño antes de montar el cuadro.

4.3. Si una envolvente tiene un IPX7, significa:

a) Que tiene protección suficiente para su inmersión en agua, por tanto también es resistente a los chorros de agua.

b) Que tiene protección contra la penetración de polvo.

c) Que tiene protección suficiente para su inmersión en agua, pero no significa que sea resistente a los chorros de agua.

4.4. La X en el código de protección IP2X significa:

a) Que no es necesaria la cifra característica para líquidos.

b) Que no se conoce la cifra característica para sólidos.

c) Puede ser cualquiera de las dos anteriores.

4.5. El grado de protección IK de un cuadro se aplica:

a) Con la puerta abierta si es de plástico o cristal.

b) Con todo instalado y la puerta cerrada.

c) Exclusivamente a los componentes internos de un cuadro.

4.6. La compartimentación permite:

a) La protección contra contactos directos a partes del cuadro, reducir formaciones de arcos y evitar acceso de cuerpos sólidos a otras partes del cuadro.

b) Evitar que unas partes estén conectadas con otras.

c) Evitar contactos indirectos.

4.7. En una atmósfera con riesgo de incendio o explosión:

a) Se puede instalar cualquier tipo de cuadro eléctrico.

b) Se ha de instalar cuadros y equipos ATEX, ya que permiten trabajar en este tipo de locales.

c) Se ha de evitar siempre una atmósfera con riesgo de incendio y explosión, no pudiendo instalar ningún elemento eléctrico en ella.

4.8. El valor de cortocircuito previsto en un punto de instalación ha de ser:

a) Menor que el del interruptor automático en ese lugar.

b) Mayor que el del interruptor automático en ese lugar.

c) Es indiferente, las barras están calculadas por el fabricante para soportar cortocircuitos.

4.9. Si un cuadro tiene presencia de humedad:

a) Se debe instalar otro con un grado IP superior.

b) Se deben instalar resistencias calefactoras.

c) Se debe instalar un sistema de ventilación forzada para evitar la condensación.

4.10. En un armario se han de disponer tres interruptores: de 1.000 A, 160 A y otro de 80 A

a) El interruptor de 1.000 A se ubicará en el centro, el de 160 A en la parte superior y el de 80 A en la parte inferior.

b) El interruptor de 160 A se ubicará en el centro, el de 1.000 A en la parte superior y el de 80 A en la parte inferior.

c) El interruptor de 160 A se ubicará en el centro, el de 80 A en la parte superior y el de 1.000 A en la parte inferior.

4.11. Una brida para carril DIN es una pieza que sirve para:

a) Introducir en ella conductores de pequeña sección para evitar canaletas.

b) Introducir en ella conductores de gran sección para favorecer la evacuación de calor.

c) Cualquiera de las anteriores, es más barato que una canaleta.

ACTIVIDADES FINALES

4.12. Un repartidor sirve para:

a) Repartir circuitos directamente.

b) Conectar con cada una de las protecciones de los circuitos.

c) Evitar contactos directos con partes metálicas.

4.13. Un peine es un elemento del cuadro para:

a) Evitar contactos directos.

b) Evitar el uso de canaletas.

c) Realizar los puentes de conexión entre elementos de protección situados en su misma fila.

Actividades de aplicación

4.1. Clasifica las tipologías de los cuadros eléctricos.

4.2. ¿Qué funciones tienen las envolventes de los cuadros?

4.3. El REBT 2002 indica que el grado mínimo de protección de los cuadros eléctricos ha de ser mínimo IP2X. ¿Qué significa esto?

4.4. En un armario eléctrico, ¿cómo se instalan los interruptores de caja moldeada?

4.5. En un taller de automóviles se dispone de diversos cuadros: general, cuatro cuadros para elevadores de vehículos, cuadro de extracción forzada y uno de alumbrado. Representa cómo deben estar conectados entre sí.

4.6. En un cuadro eléctrico, ¿cómo se distribuye el calor generado?, ¿qué tipos de ventilación existen? Explica cada uno de ellos.

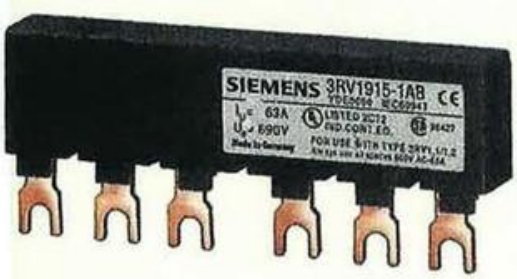
4.7. Haz una clasificación de los componentes internos del cuadro indicados en la unidad según su tipología.

4.8. Indica las diferencias entre un racor y un prensaestopas.

4.9. Señala los pasos para un correcto ensamblado de un cuadro para automatismos.

4.10. Describe cómo se debe instalar la aparamenta en un armario eléctrico.

4.11. El elemento mostrado en la siguiente figura, ¿de qué se trata y para qué se utiliza? Indica todas las características que puedas extraer de la imagen.



4.12. En un cuadro general se ha de conexionar cada terminal de un cable a un punto de la barra y/o de los bornes de la aparamenta, ¿es correcto conectar un terminal de conexión encima de otro si se han de utilizar varios cables por fase? ¿Por qué?

4.13. ¿Qué es el revestimiento de un cuadro eléctrico? Defínelo brevemente.

4.14. Indica qué entiendes si en una placa de características de una envolvente de un equipo o al leer legislación vigente a cumplir como el REBT 2002, aparece la siguiente nomenclatura:

a) IP68.

b) IP55.

c) IP30.

d) IK07.

4.15. Explica qué significa que un cuadro esté ventilado e indica las soluciones técnicas empleadas en automatismos industriales.

4.16. ¿Para qué se emplea la segmentación o compartimentación de cuadros eléctricos?

4.17. ¿Qué criterios utilizarías para instalar un embarrado con la sección adecuada?

4.18. Piensa los posibles problemas que puede tener las malas prácticas como no utilizar repartidores, no atornillar correctamente los bornes del aparellaje eléctrico o llenar demasiado de cables las canaletas de los cuadros.

4.19. En una nave industrial, una zona se dedica a la carga de las baterías de plomo de los toros eléctricos para efectuar el transporte de material de un punto a otro. Esta zona de carga, ¿la clasificarías como zona de riesgo de incendio y explosión? ¿Por qué?

Casos prácticos

4.1. Identifica cada una de las partes del cuadro de la figura y explica qué función cumple cada una de ellas.

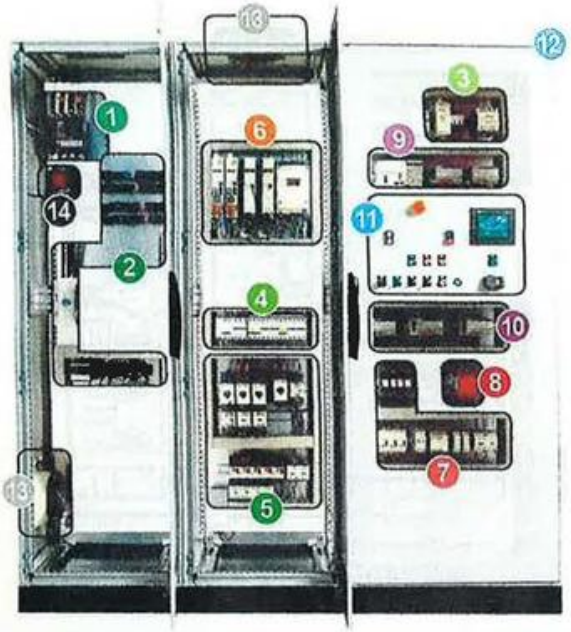


Figura 4.90 *Cuadro general de baja tensión de una instalación industrial. (Cortesía de Schneider Electric.)*

4.2. Busca en internet información acerca de fabricantes de cuadros eléctricos. Compara cada uno de ellos y analiza cuáles tienen más variedad de productos para dar soluciones técnicas a las distintas posibilidades de instalación descritas a lo largo de la unidad.

4.3. Analiza varios cuadros eléctricos de tu entorno real y compara sus características (tipo de envolvente, grado de protección, cerradura, portaplanos, etc.).

Justifica en cada caso si crees que las características que presenta cada cuadro están acordes a su lugar de instalación y su uso.

4.4. Dado el siguiente plano acotado proporcionado por un fabricante de cuadros eléctricos, responde a las siguientes preguntas:

a) ¿De qué tipo de plano se trata?

b) ¿Qué función cumple?

c) ¿Qué tipo de cuadro eléctrico crees que se encuentra representado?

d) Analiza todos los equipos, materiales y componentes que aparecen en el plano, indicando qué son y qué función realizan.

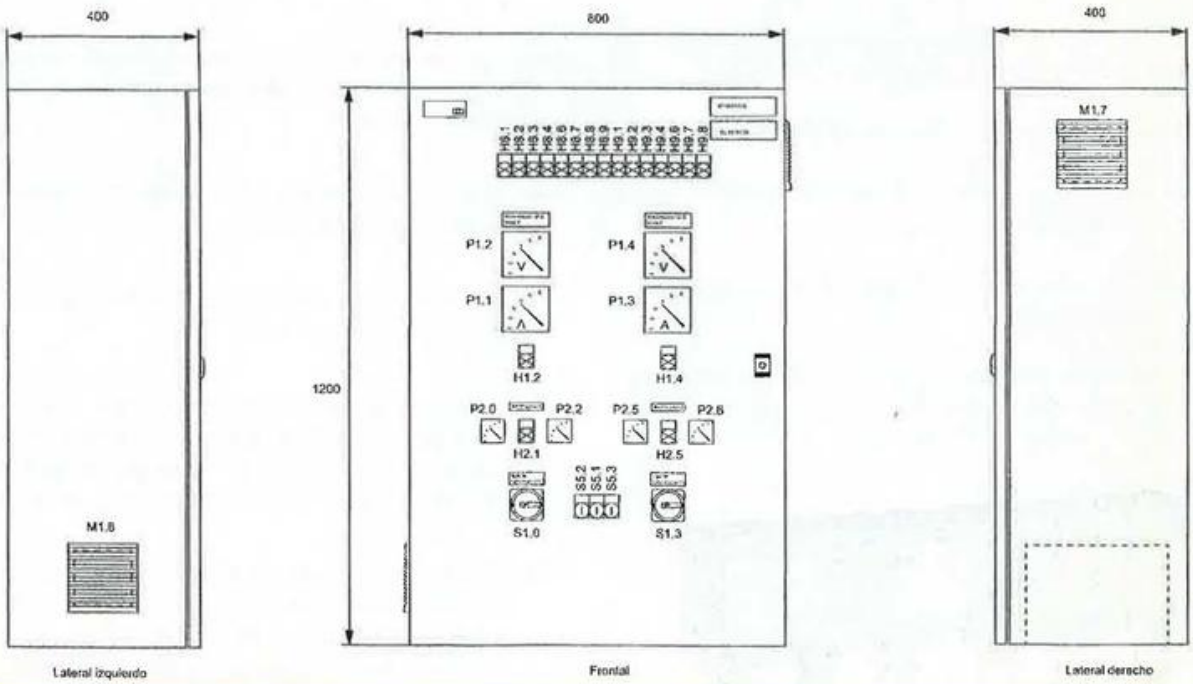


Figura 4.91. *Esquema representativo de un cuadro eléctrico (cotas en milímetros).*

Técnicas de mecanizado de cuadros y canalizaciones

5

Una instalación eléctrica está formada por cables, aparamenta, cuadros eléctricos y armarios... y para que haya transferencia de energía de un punto a otro en la instalación, los cables han de conectar mediante canalizaciones utilizando diferentes métodos de instalación.

La ejecución de las tareas de adecuación del material que llega al taller en bruto y conseguir el producto adecuado, se realiza utilizando diferentes tipos de materia prima, como cobre, aluminio, acero, hierro, plomo, estaño, aleaciones, fibras, plásticos y muchos otros que se estudiarán en esta unidad.

Para la manipulación de estos materiales, y adecuarlos a la aplicación se debe medir, señalizar, marcar y mecanizar los diferentes componentes para ensamblar mediante tornillos, tuercas, arandelas, guías, doblado de material entre otros, utilizando herramientas y máquinas específicas.

Contenidos

- 5.1. Concepto de mecanizado de materiales y cuadros eléctricos
- 5.2. Materiales empleados: características y propiedades
- 5.3. Materiales asociados a la industria eléctrica y de automatización
- 5.4. Fases para la mecanización de cuadros eléctricos
- 5.5. Técnicas y útiles para mecanizado de cuadros eléctricos de automatismos
- 5.6. Mecanizado de canalizaciones eléctricas para conductores

Objetivos

- Dar a conocer la técnica de mecanizado de cuadros y canalizaciones para automatismos industriales.
- Reconocer los diferentes tipos y características de materiales empleados.
- Identificar las herramientas y útiles empleados en el mecanizado de materiales.
- Analizar los tipos de mecanizado empleados.
- Distinguir las fases del proceso y correcto mecanizado de cuadros y canalizaciones.

5.1. Concepto de mecanizado de materiales y cuadros eléctricos

El **mecanizado** en general es un **proceso** mediante el cual un material es sometido a un **conjunto de tareas u operaciones para que adopte la forma y medidas deseadas** mediante corte, estiramiento, doblado, curvado, etc.

Para poder alojar los componentes necesarios de una instalación eléctrica y que tenga cierta protección a la humedad, polvo, impactos, etc., es necesario conformar una envolvente o "caja" adecuada al lugar de instalación.

Para ello, se ha de manipular los materiales con los que se desee fabricar el cuadro para realizar:

- **Perforaciones** para la entrada y salida de canalizaciones, bancadas para los interruptores, diferenciales, contactores, relojes y en general la aparamenta eléctrica.
- **Cortes** para ubicar las palancas de los elementos de maniobra y control, pilotos de señalización, displays de analizadores de redes para visualizar tensiones, intensidades, potencias...
- **Doblado** del ángulo preciso, como ocurre cuando hay que adaptar los tubos metálicos, bandejas y canales protectoras para lograr el trazado diseñado para la instalación.
- **Uniones** de elementos de igual o diferente naturaleza para hacer de ellas un conjunto.

Además, hay que dotar a los cuadros de bisagras adecuadas para que todos los elementos permanezcan cubiertos en modo de funcionamiento normal y de fácil acceso en caso de avería, modificación e inspección. A estas y más operaciones en las que **se manipula material, se denomina mecanizar un cuadro eléctrico.**

Figura 5.1. *Detalle de las partes mecanizadas de un cuadro para su montaje. (Cortesía de Siemens.)*

5.2. Materiales empleados: características y propiedades

Para poder realizar una instalación eléctrica para automatismos industriales y en general para cualquier aplicación, se han de emplear **materiales apropiados** y cuya **normativa vigente** lo permita. Para ello es necesario conocer las características, propiedades y aplicaciones de la materia prima disponible en el mercado para poder realizar la instalación con los materiales adecuados.

Cada material tiene unas características y propiedades concretas, ventajas e inconvenientes para la aplicación que se desee dar y por tanto se ha de saber sus peculiaridades para emplearlos adecuadamente.

5.2.1. Características de los materiales

Las principales características son:

- **Adherencia:** consiste en la capacidad para que se produzca la unión entre dos o más cuerpos en contacto.
- **Compresibilidad:** es la capacidad de los cuerpos a ser comprimibles, es decir, reducir su volumen conservando su masa.
- **Dilatabilidad:** es la propiedad de los cuerpos de extender, alargar u ocupar más volumen.
- **Elasticidad:** es la propiedad de los cuerpos para recuperar su longitud y forma originales al interrumpir la acción que los alteraba.
- **Fatiga:** es la pérdida de resistencia mecánica de un material al ser sometido largamente a esfuerzos repetidos.
- **Plasticidad:** es la capacidad que tienen los cuerpos a cambiar su forma y conservarla tras cesar la acción que lo produjo.
- **Porosidad:** es la propiedad que tienen los cuerpos sólidos de poseer cavidades entre las partículas o moléculas.
- **Solubilidad:** es la capacidad que tienen los cuerpos sólidos o espesos para disolverse o separarse las partículas o moléculas en un medio líquido logrando una mezcla homogénea.

5.2.2. Propiedades de los materiales

Las propiedades de los materiales son:

- **Conductividad:** es la propiedad que tienen los cuerpos para transmitir el calor y la electricidad. Es característi-

ca de cada material y varía con la temperatura. En general, la conductividad eléctrica de los metales **disminuye con la temperatura** y se mide en m/(Ω × mm²).

- **Resistividad:** es la inversa a la conductividad, siendo la propiedad que tienen los cuerpos para oponerse a transmitir el calor y la electricidad. Es característica de cada material y varía con la temperatura. En general, la resistividad eléctrica para los metales **aumenta con la temperatura**. Se mide en Ω × mm²/m
- **Ductilidad:** es la capacidad de algunos metales a ser deformados mecánicamente, moldeados o extenderse con facilidad en frío sin romperse extendiéndose en alambres o hilos.
- **Dureza:** es la propiedad de los cuerpos de ofrecer resistencia al ser rayados.
- **Fragilidad:** es la capacidad de los cuerpos sólidos a ser quebrados o que se rompan con facilidad.
- **Magnetización:** es la propiedad de algunos cuerpos a poseer propiedades magnéticas o alta permeabilidad de imantación, atrayendo al hierro, el acero y en grado menor otros cuerpos.
- **Maleabilidad:** es la propiedad de algunos metales a ser extensibles en planchas o láminas.
- **Masa:** es una magnitud que indica la cantidad de materia que hay en los cuerpos. Depende del material.
- **Tenacidad:** es la capacidad que tienen los cuerpos a oponer resistencia a deformarse o romperse.
- **Volumen:** es una propiedad que indica el espacio que ocupa un cuerpo, material o sustancia.
- **Densidad:** es la relación entre la masa y el volumen que ocupa un cuerpo. Es una propiedad característica de todos los cuerpos, pudiendo identificar distintos materiales y sustancias.

SABÍAS QUE

Una aleación es un material homogéneo cuya composición se realiza por fusión de elementos químicos, obteniéndose como resultado la combinación de propiedades metálicas, siendo por lo menos uno de ellos metálico.

Actividad propuesta 5.1

Identifica distintos tipos de materiales que observes a tu alrededor y compáralos entre ellos según sus características y propiedades.

5.3. Materiales asociados a la industria eléctrica y de automatización

Los principales materiales empleados en la industria del sector eléctrico y de automatización industrial son entre otros, los siguientes:

5.3.1. Cobre

Es un metal de color rojizo brillante, blando, muy buen conductor eléctrico y del calor, muy resistente a la corrosión, **muy dúctil (hilos) y maleable (láminas o planchas)**.

Su símbolo químico es Cu. Su conductividad eléctrica, Y, a 20 °C es de 56 m/(Ω × mm²), a 70 °C es de 47,6 m/(Ω × mm²) y a 90 °C es de 44 m/(Ω × mm²).

El cobre puro es un metal blando, siendo partícipe de algunos materiales denominados aleaciones, en los cuales se produce un endurecimiento, pero se hacen peores conductores de la electricidad. Las principales aleaciones son el **bronce** (cobre con estaño), **latón** (cobre con cinc) y **alpaca** (cobre con níquel y cinc) entre otras.

Es un metal de larga duración al ser reciclable prácticamente ilimitadamente sin perder sus propiedades y características, siendo el tercer metal que más se utiliza en el mundo.

En automatismos industriales, se emplea el cobre electrolítico que se llama así porque el grado de pureza es del orden de 99,6 % mientras que el utilizado para alear suele tener una pureza del 96 % siendo insuficiente al aumentar su resistencia eléctrica. Se encuentra en cables, contactos de interruptores, embarrados o conductores de gran sección para extender de él un gran número de circuitos, devanado de motores eléctricos, transformadores y dispositivos electrónicos.

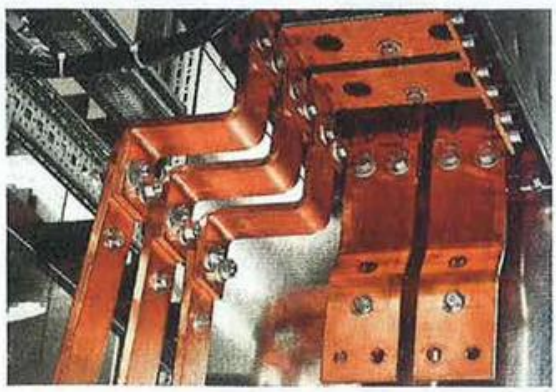


Figura 5.2. *Embarrado de cobre electrolítico para la conexión de circuitos de potencia importante.*

SABÍAS QUE

Para evitar sabotajes y robos de cobre en instalaciones eléctricas, existen esprays que contienen un producto invisible para el ojo humano, pero con una luz de una longitud de onda determinada, es posible identificarlo para conocer el propietario del material, teniendo una duración aproximada de 25 años. Cada envase tiene actualmente un precio aproximado de unos 400 euros. Existe otra técnica para evitar los robos, que consiste en monitorizar la red de cableado, enviando la información a una central de control.

5.3.2. Aluminio

Es un metal de color blanco, blando, buen conductor eléctrico y del calor, muy resistente a la corrosión, muy dúctil (hilos) y maleable (láminas o planchas).

Su símbolo químico es Al. Su conductividad eléctrica a 20 °C es de 35 m/(Ω × mm²), a 70 °C es de 29 m/(Ω × mm²) y a 90 °C es de 27,3 m/(Ω × mm²).

Se emplea para la fabricación de cables de alta tensión dado que es más barato y ligero que el cobre, aunque su conductividad de la electricidad sea algo menor. También es frecuente su uso para devanados de transformadores de potencia, y conductores de gran sección en instalaciones eléctricas de baja tensión.

Figura 5.3. *Bobinas de aluminio para posteriormente ser mecanizado.*

Figura 5.4. *Conductores de aluminio.*

5.3.3. Hierro

Es un metal de color gris plateado, extremadamente duro y denso, conductor del calor y la electricidad, poco resistente a la corrosión produciéndose herrumbre, oxidándose. Es dúctil (hilos) y maleable (láminas o planchas). Tiene muy buenas propiedades de magnetización siendo reversibles los procesos de imanación y desimanación. Su símbolo químico es Fe.

Su principal aplicación es servir de base para otros productos siderúrgicos y mejorar las propiedades al alearlo con, por ejemplo, carbono y obtener acero. En estado elemental es de difícil obtención y no tiene buenas propiedades mecánicas, utilizándose prácticamente puro solo para electroimanes (por sus grandes propiedades magnéticas) y planchas galvanizadas.

5.3.4. Acero

El acero es una aleación de hierro (metal) y carbono (no metal) en la que el porcentaje de carbono puede variar entre el 0,03 y el 1,075 %, obteniéndose diferentes tipos de aceros según sea el porcentaje de carbono. Se obtiene así una aleación más dura y resistente que el hierro puro pero más frágil y se pueden hacer hilos más fácilmente (aumenta la ductilidad).

5.3.5. Fundición

Una fundición es de composición similar al acero, aleación del hierro (metal) y carbono (no metal), **pero superándose a 21 % de carbono**. Se obtiene un material muy duro pero muy frágil.

5.3.6. Plata

Es un metal blanco brillante, muy buen conductor de la electricidad (aún mejor que el cobre), muy dúctil y maleable. Es más duro que el oro.

Posee una de las conductividades eléctricas y térmicas más elevadas de los metales. No se usa de forma masiva en materiales eléctricos debido a su coste, reservándose a este sector para los contactos eléctricos de interruptores, conectores especiales y similares. Se utiliza en medicina, electricidad, electrónica, fotografía y otras aplicaciones parecidas.

Existen muchas aleaciones con plata, como la plata de ley, que es una aleación de plata y cobre hasta el 5 %, endureciéndola.

5.3.7. Wolframio

Es un metal de color gris plateado con brillo metálico, tiene alta densidad y es muy duro.

También se llama tungsteno y se utiliza para fabricar herramientas de corte, varillas de soldadura, lámparas eléctricas de filamento, electrónica y productos del sector eléctrico y aviación. Este material es muy importante en la industria en general. En forma de polvo puede producir incendio y explosión.

SABÍAS QUE

El wolframio o tungsteno puede producir irritación en la piel, ojos y pulmones si se pone en contacto, produciendo enrojecimiento y lagrimeo. Cuando se trate con este material hay que tomar siempre las precauciones necesarias en seguridad industrial.

5.3.8. Estaño

Es un metal de color plateado, blando, con gran flexibilidad, muy dúctil, maleable, resistente a la corrosión y estable a temperatura ambiente. En caliente, se oxida y es frágil.

Para la obtención del estaño puro se extrae del mineral casiterita.

Se utiliza mezclado con el plomo (comercialmente 60 % de estaño y 40 % plomo), para soldar conductores y componentes electrónicos, la denominada soldadura blanda. Además, se utiliza para la fabricación de conservas, proteger de la corrosión al cobre y el hierro y recubrir aceros, quitar fragilidad al vidrio, dentífricos, para elaborar bronce (aleación de estaño y cobre), esmaltes cerámicos, etc. Dado que se prohibió por normativa el uso del plomo en alimentación, se emplea para las cápsulas de botellas de vino y efectuar el sobretaponado.

5.3.9. Plomo

Es un metal pesado de color plata azulado al seccionarse, y al poco tiempo tras oxidarse se vuelve de un color gris mate. Se caracteriza por ser muy flexible, blando e inelástico, muy dúctil y maleable, poco resistente a impactos y mal conductor eléctrico.

Se emplea para la fabricación de armaduras a conductores eléctricos dado que aporta más resistencia mecánica que el polietileno reticulado y PVC y a su vez es también flexible. Normalmente, su uso es extendido mediante aleaciones, como la soldadura blanda (60 % de estaño y 40 % de plomo).

Una aplicación muy importante del plomo se da en la fabricación de cojinetes para máquinas eléctricas que, aleado con el estaño, se funde en caso de calentamiento por falta de lubricación, no dañándose dicho eje admitiendo muy bien las dilataciones por temperatura, facilitando el rodaje y acople de los elementos eje-cojinete.

SABÍAS QUE

El plomo es tóxico, produciendo perturbaciones en el biorritmo, riñones, sistema nervioso, cerebro, incremento de la presión sanguínea, disminución de la fertilidad del hombre y anemia, entre otros síntomas, y su intoxicación se llama *saturnismo* o *plumbosis*.

5.3.10. Cadmio

El cadmio es un metal blanco azulado, dúctil y maleable, muy similar al cinc. Es un metal muy tóxico y se extrae de las menas del cinc. Su uso es mayoritariamente para la fabricación de baterías de níquel-cadmio, aunque se están sustituyendo por las de níquel-metal hidruro (NiMH) por estar estas ausentes del efecto memoria. En instalaciones eléctricas, se usa aunque cada vez menos para dar un baño de cadmio a los embarrados de cobre para proteger a este de la corrosión. En la industria también se emplea para la fabricación de plásticos.

Actividad propuesta 5.2

Imagina que disponemos de una esfera de plomo y otra de madera, ambas de la misma masa. ¿Cuál llegará antes al suelo si se dejan caer desde la misma altura? Justifica la respuesta.

5.4. Fases para la mecanización de cuadros eléctricos

Para conseguir mecanizar correctamente un cuadro eléctrico, destinado a las instalaciones de automatismos industriales o a cualquier otra actividad, se han de seguir los siguientes pasos:

1. Marcar en una plancha la ubicación exacta de los elementos del cuadro como soportes o bancadas mediante perfiles DIN para la aparamenta, canale-

tas, ventiladores y similares. Esta base será la parte trasera del cuadro eléctrico

2. Anclar correctamente alineado según el marcaje anterior de los soportes y elementos que requieran fijación, mediante perforaciones, soldadura, remachado y similar.
3. Señalización de la ubicación de los componentes en la puerta del cuadro eléctrico con las medidas de los aparatos, que debe aportar el fabricante de los elementos a ubicar, dado que no serán de la superficie exacta a la medida de los aparatos a ubicar, sino con una tolerancia para que encajen sin que vaya forzada su posición donde irán situados (en superficie generalmente), voltímetros, amperímetros, analizadores de redes, interruptores, conmutadores, lámparas de señalización, rotulación de sus funciones, y todo aquel componente o elemento que haya sido diseñado para dar información del estado de funcionamiento de la instalación eléctrica. En caso de haber tapas para la aparamenta del cuadro, se deben marcar también las dimensiones correctas.
4. Ejecutar los orificios fieles a las dimensiones de marcado anterior.
5. Colocación de todos los elementos tanto del panel del fondo como de la puerta que previamente se haya pensado ubicar.
6. Colocar la puerta del cuadro en la envolvente mediante sus bisagras.
7. Cablear correctamente todos los circuitos, marcando los cables de cada circuito si es necesario (por ejemplo, en cuadros de maniobra o lógica cableada). Aunque no es obligatorio, es muy recomendable en las conexiones utilizar los bornes terminales de conexión entre el elemento y el conductor, con el color de la sección de cable adecuado. Esto garantiza una conexión con toda la sección del cable así como identificarla a simple vista.
8. Montar la parte trasera al elemento estructural con la técnica de fijación adecuada mediante tornillería, remachado, soldadura o similar.
9. Rotular todos los elementos del cuadro eléctrico según su función y circuito correspondiente.
10. Anclaje del cuadro ya montado en el lugar adecuado para tal fin: apoyado en el suelo en caso de armarios, empotrado en paredes, en superficie, fijación mural y similar, ubicándose por ejemplo en salas técnicas.

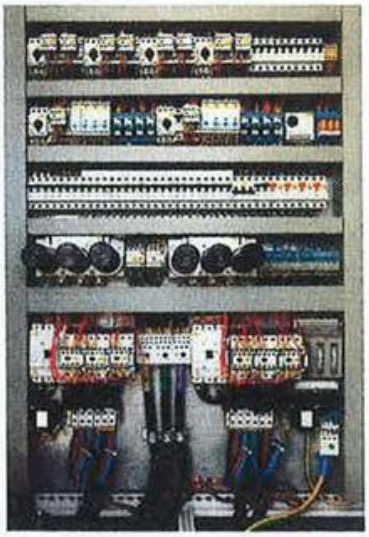


Figura 5.6. *Instalación de la aparamenta, canaletas y cableado del cuadro con la placa trasera mecanizada.*

Figura 5.5. *Cofre de un cuadro donde se visualiza la placa metálica trasera que es la base de montaje de los componentes del cuadro.*

Figura 5.7. *Armario de potencia para automatismos con partes ya mecanizadas.*

RECUERDA

Una vez finalizado el cableado del cuadro, no hay que olvidar conectar a tierra directa la puerta del mismo si es metálica, dado que es la protección frente a contactos directos para los usuarios y técnicos de mantenimiento.

5.5. Técnicas y útiles para mecanizado de cuadros eléctricos de automatismos

Para mecanizar correctamente un cuadro eléctrico se deben emplear las herramientas y técnicas apropiadas en cada caso.

5.5.1. Técnicas para medir en cuadros y piezas

Para poder ubicar los elementos en el cuadro eléctrico, es preciso **medir** las distancias en las que se alojarán cada uno de estos componentes, de tal forma que han de quedar alineadas todas las filas de bancadas y los elementos equidistantes. Por tanto, la distancia entre las bancadas puede variar según los tamaños de los componentes de las filas y con la separación de seguridad adecuada entre elementos del fondo del cuadro, la puerta cuando esté completamente cerrada, las canaletas para un correcto cableado, etc.

Para ello se disponen en el mercado diversas herramientas para poder medir en los cuadros eléctricos según sea el tipo de medida.

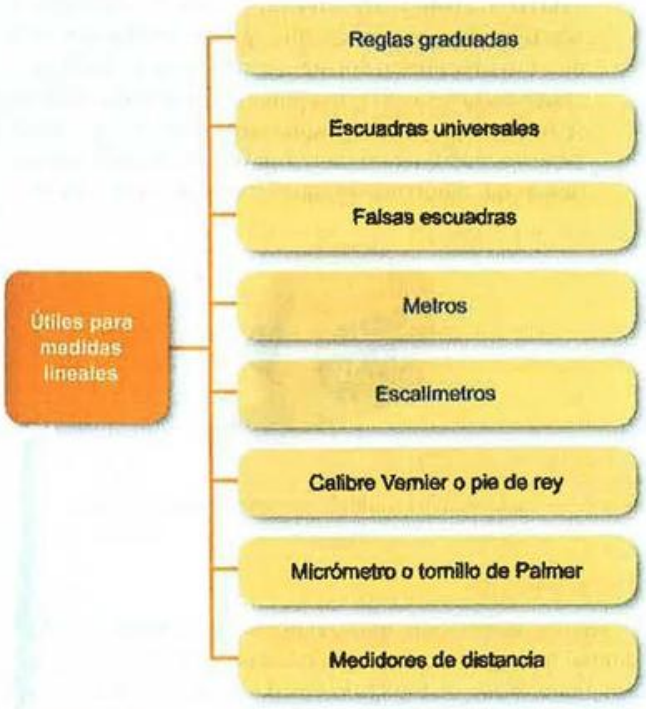


Figura 5.8. *Herramientas para medidas lineales.*

Regla

Preferentemente metálica, aunque menos aconsejable puede ser de madera o plástico. Sirve para marcar o conocer distancias y dimensiones, aunque su uso es más adecuado para marcar líneas. Es uno de los útiles más apreciados en cualquier taller electromecánico. Las hay de diferentes anchos, longitudes y gruesos.

Pueden estar graduadas en centímetros, milímetros y medios milímetros. También las hay calibradas en pulgadas y fracciones de pulgada.

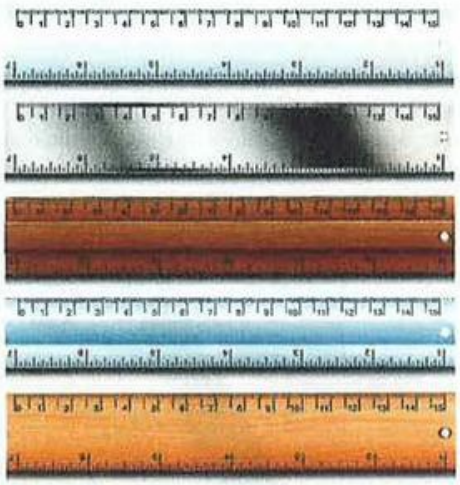


Figura 5.9. *Diferentes tipos de reglas graduadas en centímetros, milímetros y pulgadas.*

SABÍAS QUE

Una pulgada equivale a 25,4 mm, o lo que es lo mismo, 2,54 cm. Su símbolo es in (de *inch*, en inglés), y en ocasiones también se utilizan dobles comillas (").

Actividad propuesta 5.3

Averigua una distancia en la que las pulgadas y su equivalente en milímetros sean números enteros.

Escuadra universal

Es una herramienta de medida muy versátil y de gran uso en el taller dado que permite medir y trazar líneas horizontales, perpendiculares y a 45°. Se utiliza para marcar la línea de corte para el ingleteado, que es hacer dos ángulos de 45° para formar un ángulo de 90°. Por ejemplo, en las esquinas de las juntas de goma de las puertas de los cuadros para proporcionar un grado de protección IP adecuado.

Se pueden adquirir de diferentes medidas, al igual que las reglas. Las más típicas son de 250 mm, 400 mm, etc.

Figura 5.10. *Escuadra metálica universal.*

Falsa escuadra

Consta de dos perfiles unidos con un tornillo y palomilla para ajustar el ángulo deseado, normalmente diferente a 90°. Con esta herramienta se puede trasladar el ángulo deseado para copiarlo en otro lugar no siendo tan importante conocer el ángulo que forma.

Figura 5.11. *Falsa escuadra.*

Metro

El metro puede ser de tres tipos claramente diferenciados:

- **Metro plegable:** es generalmente de madera, acero, latón o aleaciones de aluminio. Tiene diez brazos. Mide hasta el medio milímetro, teniendo la ventaja de adaptarse a la longitud a medir según se precise sacando más o menos partes. Tiene el inconveniente que los puntos de unión de brazos pueden adquirir tolerancia y ser difícil colocar los tramos consecutivos rectos con exactitud.

Figura 5.12. *Metro plegable.*

- **Cinta métrica:** es una cinta de acero o materiales plásticos flexibles, graduada en centímetros o milímetros. Los diez primeros centímetros pueden estar divididos en medios milímetros. Son un poco incómodos, pero permiten medir longitudes de contornos curvilíneos.

Figura 5.13. *Cinta métrica.*

- **Metro flexible y arrollable:** consta de una cinta de acero graduada en cm y mm que se arrolla dentro de una envolvente en forma de caja, con la ventaja de poder extraer de ella únicamente la parte de cinta que se utiliza para medir bloqueándose la hoja, y al finalizar esta, accionando con el pulgar se recoge automáticamente mediante un muelle situado en su interior.

Figura 5.14. *Metro flexible y arrollable, también llamado flexómetro.*

Escalímetro

Es una regla fabricada tradicionalmente de madera de haya aunque actualmente son de aluminio o plástico, cuya sección tiene forma de triángulo diseñado para contener en ella diferentes escalas típicas utilizadas en planos. Suele ser de 30 cm de longitud. En cada uno de los cantos dispone dos

escalas, una por cada lado, teniendo en un solo escalímetro seis escalas diferentes.

Las escalas habituales son: 1:100, 1:200, 1:250, 1:300, 1:400 y 1:500, existiendo multitud de escalas diferentes.

Figura 5.15. *Escalímetro.*

Calibre Vernier o pie de rey

Un calibre o pie de rey es un instrumento que se utiliza en el taller electromecánico para medir objetos como piezas mecánicas, eléctricas y similares con precisión.

Consta de una regla de acero inoxidable, graduada, de cara y cantos perfectamente planos y perpendiculares entre sí, que termina doblada formando una escuadra en un extremo. Estas caras están graduadas en centímetros o milímetros por un borde y por el opuesto en pulgadas. Esta regleta constituye la boca fija. Una escuadra más pequeña, llamada cursor o corredera, se desliza suavemente por la primera, constituyendo la boca móvil. El desplazamiento de la corredera se realiza presionando sobre un pulsador solidario con la boca móvil. Tiene una ventana cerrada o abierta con los bordes biselados, uno de los cuales, el inferior, lleva grabada una graduación especial llamada nonius. El **nonius** es la clave del grado de precisión del calibre, ya que permite obtener medidas con precisión inferior al milímetro.

- **Características de un calibre:**
  - — La longitud de la regleta en mm: los hay de 150 mm y de 25 mm.
  - — Según el grado de apreciación del nonius puede tener las siguientes precisiones: 0,1, 0,05 o 0,02. La **apreciación del calibre** se calcula **dividiendo 1/*n*, donde *n* es el número de divisiones que tiene el nonius**. Por ejemplo, si tenemos 20 divisiones, la apreciación es de: 1/20 = 0,05.
  - — La forma del cursor o corredera puede ser de ventana abierta o cerrada.
  - — El material del calibre es de acero inoxidable.
  - — Puede disponer de un tornillo en la parte del cursor para fijar la medición.
- **Usos del calibre:**
  - — Medición de piezas macizas.
  - — Medición de piezas huecas.
  - — Medición de profundidades.
- **Lectura de una medida.** Se pueden presentar varios casos:
  - — **Caso 1: la longitud a medir es un número entero en mm.** Su medida es la marcada en la regla. Para ello, el cero del nonius es el que ha de coincidir con una de las divisiones en mm de la regla o parte fija.

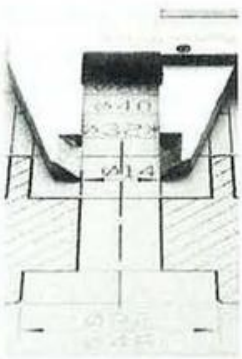
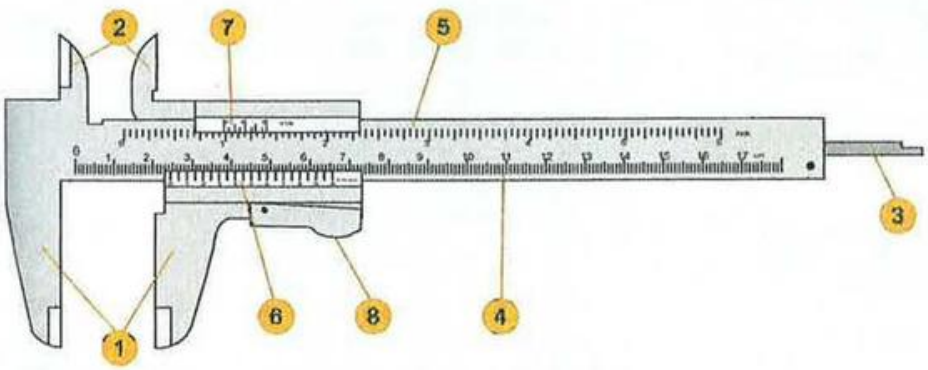


Figura 5.17. *Medidas con el calibre con números enteros.*



1. Mordazas para medidas externas.
2. Mordazas para medidas internas.
3. Barra para medida de profundidades.
4. Escala con divisiones en centímetros y milímetros.
5. Escala con divisiones en pulgadas y fracciones de pulgada.
6. Nonio para la lectura de las fracciones de milímetros en que esté dividido según la apreciación. Puede ser de 0,1, 0,05 o 0,02 mm.
7. Nonio para la lectura de las fracciones de pulgada en que esté dividido según la apreciación. Normalmente 1/128 in.
8. Botón de deslizamiento y freno.

Figura 5.16. *Partes de un calibre Vernier o pie de rey.*

— **Caso 2: la longitud a medir no es un número entero en mm.** Si se trata de una medida decimal, el origen o el cero del nonius estará entre dos divisiones de la regla fija. La parte entera en mm de la medida es la que marca la regla fija inmediatamente anterior al cero del nonius. La división del nonius situado a la derecha del cero que coincida frente a una división de la regla fija, nos indicará la parte decimal.

En cualquier medida efectuada con el calibre tenemos que:

$$M = C + A \times N$$

Siendo:

C: posición del cursor, es el número entero de la regla fija, más cercana al cero del nonius.

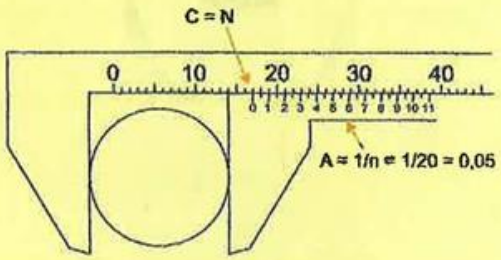
A: apreciación. Depende del calibre utilizado y va en función del número de divisiones que tenga el nonius. Suele ser de 0,1, 0,05 o 0,02.

N: número de la división del nonius que mejor coincide con cualquier división de la regla fija del calibre.

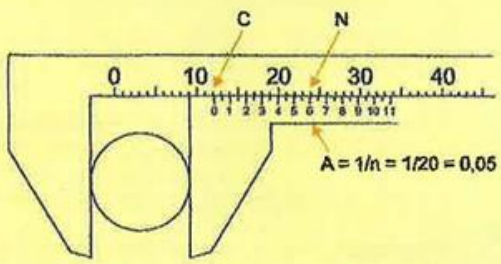
Actividad resuelta 5.1

En las tres figuras siguientes, indica la lectura medida en el calibre.

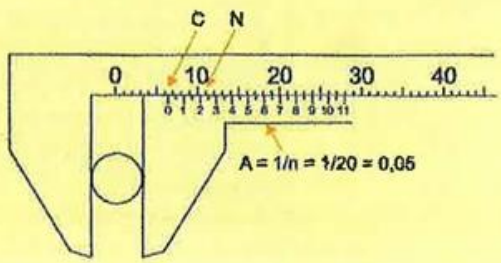
a)



b)



c)



Solución:

a) $M = C + A \times N = 17 + 0{,}05 \times 0 = 17$ mm

b) $M = C + A \times N = 12 + 0{,}05 \times 12 = 12{,}6$ mm

c) $M = C + A \times N = 6 + 0{,}05 \times 5 = 6{,}25$ mm

Micrómetro o tornillo de Palmer

Es un instrumento para medidas lineales que se utiliza para leer lecturas de longitudes de piezas u objetos en los que se requiera una precisión superior a la del calibre o pie de rey. La apreciación de los micrómetros estándar es de 0,01 (milésima de milímetro) e incluso existen de 0,001 mm, equivalente a una micra de milímetro.

Figura 5.18. *Micrómetro o tornillo de Palmer.*

Su funcionamiento está fundamentado en el paso de rosca de un tornillo. Si suponemos que al dar una vuelta completa el tornillo avanza 0,5 mm lineales y cada vuelta se divide en 50 divisiones, tenemos que, al avanzar una división (cada una de las líneas de las 50 divisiones), se obtiene una apreciación de:

$$A = \frac{0{,}5 \text{ mm/vuelta}}{50 \text{ divisiones/vuelta}} = 0{,}01 \text{ mm/división}$$

La longitud máxima a medir depende del tipo de tornillo de Palmer, disponiendo en el mercado de diversos rangos de medición:

- 0 a 25 mm (de 0 a 1 pulgada).
- 25 a 50 mm (de 1 a 2 pulgadas).
- 50 a 75 mm (de 2 a 3 pulgadas).
- 75 a 100 mm (de 3 a 4 pulgadas).

Su funcionamiento consiste en un tornillo micrométrico, de tal forma que los extremos (husillo y yunque) se aproximan al girarlo en el sentido de las agujas del reloj.

Las partes elementales de un micrómetro o tornillo de Palmer se pueden apreciar en la Figura 5.19.

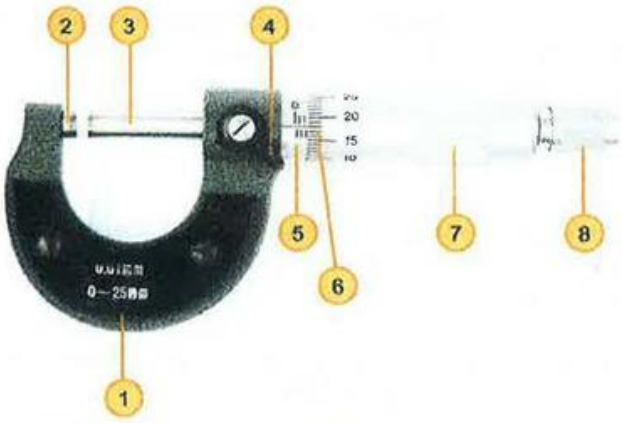


Figura 5.19. *Partes de un micrómetro.*

1. **Marco o cuerpo:** consta de la estructura del micrómetro.
2. **Tope fijo:** es la superficie que establece la referencia o cero de la medida. Un lado está sujeto por la estructura del micrómetro y el otro está en contacto con la pieza a medir.
3. **Tope móvil:** es la parte móvil o husillo micrométrico que está en contacto con la pieza y que según sea esa distancia respecto al cero o parte fija, así será su lectura.
4. **Dispositivo de seguro:** permite paralizar el desplazamiento del tope móvil.
5. **Tambor micrométrico fijo o línea de lectura principal:** pertenece a la estructura del micrómetro donde tiene grabadas las divisiones de la escala fija.
6. **Nonio:** en él van grabadas las divisiones de la escala circular.
7. **Tambor accionador micrométrico móvil:** es el elemento que se gira para ajustar la parte móvil a la pieza siendo solidario con el tope móvil.
8. **Trinquete o freno:** se utiliza para que la presión que ejerce la parte móvil sobre la pieza esté limitada, ya que una sobrepresión en la pieza da lugar a medidas incorrectas. Esta limitación se efectúa mediante una carraca, de tal forma que al superar la presión, tiene una muesca que impide que apriete más resbalando, girando sobre sí mismo el tambor accionador.

   Cuando la pieza está entre el husillo y el yunque, con la perilla de trinquete se aprieta hasta que automáticamente la perilla deja de oprimir.

La escala está dividida en dos partes:

- **Escala horizontal:** mide de 0,5 en 0,5 mm (la escala de milímetros está dividida en 0,5 mm).
- **Escala vertical o nonio:** mide de 0,01 en 0,01 mm (centésimas de mm). Una vuelta entera del tornillo es medio milímetro (0,5 mm). Como está dividida en 50 partes, cada división es 0,5/50 = 0,01 mm. También puede medir milésimas de mm.

SABÍAS QUE

Con la evolución de la microelectrónica, existen calibres y micrómetros digitales en los que se indica la lectura directamente en la pantalla o display.

Figura 5.20. *Calibre o pie de rey y micrómetro o tornillo de Palmer digitales.*

Actividad resuelta 5.2

Indica la medida del tornillo de Palmer de la siguiente figura:

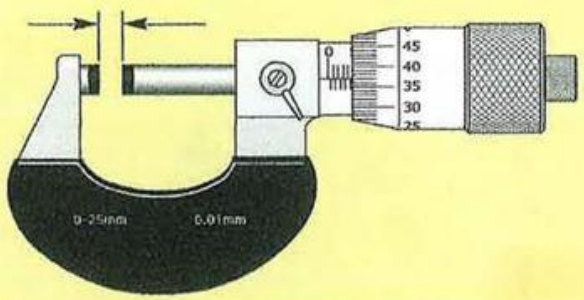


Figura 5.21. *Medición de una distancia con el tornillo de Palmer o micrómetro.*

Solución:

La medida del tornillo de Palmer se descompone en tres lecturas:

Escala de milímetros:	4 mm
Escala de medios milímetros:	0,5 mm
Escala de centésimas de milímetros:	37 × 0,01 = 0,37 mm
Medición de la pieza:	**4,87 mm**

Medidores de distancia láser o ultrasonidos

Es un equipo electrónico que sirve para medir distancias en las que el aparato emite una onda tipo láser y/o ultrasonidos y en función de lo que tarde en regresar la onda rebotada por el extremo a medir, calcula automáticamente la longitud. Son muy precisos, siendo muy utilizados en la industria.

Figura 5.22. *Medidor de distancia mediante ultrasonidos.*

5.5.2. Técnicas para el trazo y marcaje en los materiales

Para marcar o señalar en el material los límites para realizar operaciones en ellos, se emplean útiles y herramientas como lapiceros o añil, punzones para realizar una pequeña marca física en el material o niveles láser que proyectan un tipo de luz para señalar distancias exactas en locales para que la altura respecto de un punto sea idéntica, puntos para taladrar y similares.

Figura 5.23. *Herramientas de marcado.*

Lápiz

Es un instrumento para señalar, en papel y materiales como madera o metales, los límites para efectuar operaciones de mecanizado. En su interior dispone de una barra de grafito mezclado con arcilla que es lo que realiza el trazo al rozar con una superficie. Existen numerosos tipos de lapiceros, pero en el taller se emplea el lápiz de carpintero.

Nivel

Es un instrumento que sirve para conocer si un objeto está exactamente horizontal o vertical. Consta de una burbuja de fluido que es sensible al movimiento según la posición en que se sitúa.

Se utiliza, por ejemplo, en un cuadro con fijación mural en el que solo tiene un punto de anclaje, para poder averiguar el otro para que quede perfectamente horizontal.

Figura 5.24. *Lápiz de carpintero, metro plegable y nivel.*

Compás de punta

El compás de punta es un útil diseñado para tomar mediciones de transferencia o para compararlas. Marcan sobre el material tipo acero y similares, por ejemplo, distancias de plantillas.

Figura 5.25. *Compás de punta para marcar en materiales.*

Punta de trazar, punzón o granete

La punta de trazar es un útil de acero templado que sirve para trazar y marcar líneas en piezas para mecanizar dejando una marca en el material por rayado sin que se elimine en el proceso de transformación. Tiene forma de lápiz con una punta muy afilada.

Figura 5.26. *Punta de trazar.*

El punzón o granete es una herramienta de acero templado o de cromo vanadio menos afilado que la punta de trazar, a unos 60°. Se utiliza para marcar un punto en el metal golpeándolo por el otro extremo, haciendo de guía para posteriormente mecanizar el material perforándolo.

Figura 5.27. *Punzón o granete.*

Nivel láser

Consiste en una herramienta para marcar a distancia los puntos donde se ha de mecanizar algo pero sin que este marcaje sea por huella física alguna. Se proyecta una luz a la altura deseada o en el punto deseado trabajando con el dispositivo encendido. Se utiliza para ubicar correctamente las posiciones de cuadros eléctricos, alturas donde se mecanizarán soportes para su fijación y similares.

Figura 5.28. *Nivel láser para proyectar distancias.*

5.5.3. Técnicas para sujeción de piezas

Para la sujeción de piezas, se emplean herramientas que permiten trabajar las piezas de forma segura. Son elementos fundamentales en cualquier taller electromecánico.

Figura 5.29. *Herramientas de sujeción.*

Tornillo de banco o de apriete

Es una herramienta que sirve para sujetar firmemente una pieza a la que se desea realizar operaciones de mecanizado como limar, cortar, doblar, perforar... Consta de un husillo u otro mecanismo similar, en el cual unas mordazas sujetan por fricción la pieza deseada con la presión requerida.

Figura 5.30. *Tornillo de apriete anclado a una mesa de trabajo.*

Alicates

Son herramientas utilizadas para mantener sujetos objetos, cortar cables, doblar materiales o cualquier otro tipo de operación de mecanizado con materiales duros, como

pueden ser alambres u otros objetos similares. Existen diferentes tipos según su uso. Los más utilizados son:

- Planos.
- De punta redonda.
- De punta de pato.
- De corte.

Figura 5.31. *Diferentes tipos de alicates.*

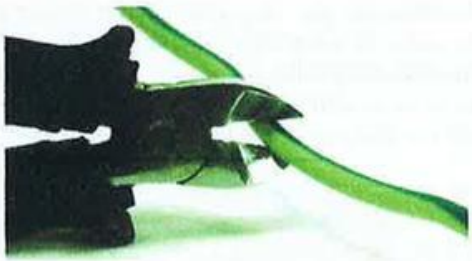


Figura 5.32. *Detalle del corte de un cable con un alicate.*

Tenaza extensible o pinza pico de loro

Es una evolución de la tenaza tradicional cuyo cometido es sujetar en vez de cortar como lo hace su predecesora. Permite ajustar su boca a la medida deseada, manteniendo las mordazas paralelas.

Figura 5.33. *Tenaza extensible o pinza pico de loro.*

Gato, sargento o tornillo de apriete

Es una herramienta que tiene unas mordazas paralelas que se ajustan mediante un mango que lleva un tornillo para presionar la pieza o piezas para ser mecanizadas. Existen diversos tamaños de gatos o sargentos.

Figura 5.34. *Gato, sargento o tornillo de apriete.*

Caja de inglete

Es un soporte que permite guiar el corte en ángulo sin desviarse, en materiales como plástico, metal, madera y similar. Se suele realizar cortes a 90° y a 45° para juntar ambos lados de dos piezas con las mismas dimensiones y formar un ángulo recto.

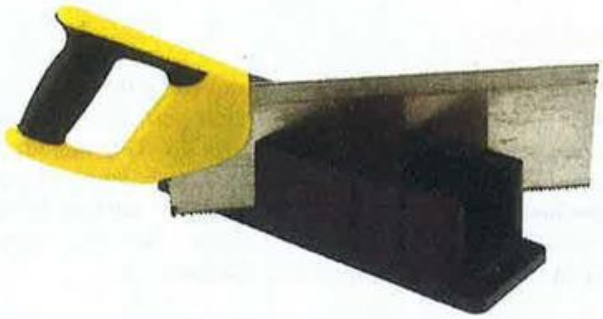


Figura 5.35. *Caja de ingletes para cortar piezas en recto y ángulos a 45°.*

5.5.4. Técnicas para cortar material

La técnica de corte es una operación cuyo cometido es separar un exceso de material, empleando para ello diferentes tipos de útiles que dependen del material.

Por ejemplo, el aserrado, a diferencia del limado tiene la ventaja de poder recuperar los sobrantes de material sin reducirlo a virutas como ocurre en la operación de limado, pudiendo utilizarlos para otras aplicaciones.

Figura 5.36. *Herramientas de corte.*

Aserrado

El aserrado a mano es una operación de mecanizado que tiene por objeto cortar exceso de material empleando herramientas denominadas sierras y serruchos.

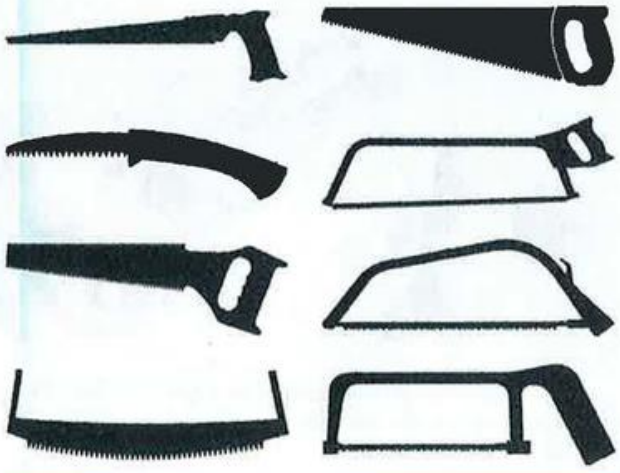


Figura 5.37. *Diferentes tipos de sierras.*

Sierra de arco

Es una estructura en forma de arco en la que se introduce una lámina de acero al carbono, acero al tungsteno o acero rápido. Es flexible y está dentada en toda su longitud. La sección de la hoja es ligeramente trapezoidal para evitar que se agarrote durante su uso.

Figura 5.38. *Corte de un tubo de plástico para canalización eléctrica con sierra de arco.*

Sierra de calar

La sierra de calar es una herramienta eléctrica de las más versátiles para el corte en el taller. También se llama caladora. Su funcionamiento se basa en el desplazamiento vertical de una hoja de sierra en forma de vaivén y a gran velocidad. En algunos casos dispone la posibilidad de regular el movimiento pendular, que además de subir y bajar, avanza y retrocede la hoja.

Se coloca la hoja con el dentado apropiado para el material a cortar, metal, madera, plástico y similar.

En el mercado existen diversos tipos, siendo sus características más importantes la potencia y la posibilidad de regular la velocidad.

En caso que la velocidad sea variable (electrónicas), **cuanto más duro sea el material mayor debe ser la velocidad y el movimiento pendular ha de ser pequeño.** Si no importa astillar, ya que posteriormente se va a limar, el movimiento pendular puede ser grande. Además, en caso de cortes de materiales duros, cuanto más rápido sea el movimiento vertical antes se desgasta la hoja.

Además tiene una prestación muy útil, que es disponer de un puntero láser en la máquina para dirigir exactamente por dónde va a cortar la hoja.

Permite realizar cortes rectos, ingletes o curvos. La caladora se pone perpendicular al material a cortar, existiendo una amplia gama de modelos en el mercado en el que el ángulo puede ser ajustable.

Figura 5.39. *Sierra de calar o caladora.*

RECUERDA

Se debe elegir siempre la hoja de sierra adecuada, ya que de lo contrario no se obtienen los cortes esperados, pudiendo dañar la hoja.

Figura 5.40. *Tipos de hojas de caladora para cortar diversos materiales: madera, metal y cerámicos como azulejos.*

Útiles de corte de materiales

Los principales útiles de corte son:

Cúter

Es un útil que dispone de una chuchilla afilada y fina retráctil. En caso de desgaste de la punta, permite partir una de sus partes para utilizar el siguiente escalón disponiendo de otra punta en perfecto estado hasta que se agote la hoja. Permite el corte de cintas aislantes, termoretráctiles y similares.

Figura 5.41. *Cúter.*

Pelacables o pelahilos

El pelacables es una herramienta que permite cortar el extremo del aislamiento de cables y extraerlo sin afectar en absoluto al conductor. Es muy útil para posteriormente engastar terminales.

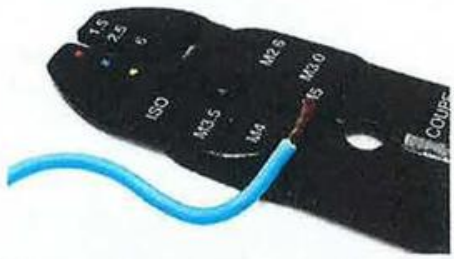


Figura 5.42. *Pelacables o pelahilos.*

Figura 5.43. *Pelacables o pelahilos automático. El cable se coloca en la posición de la sección adecuada extrayendo fácilmente el aislamiento del cable.*

Cortatubos

Es una herramienta de corte que tiene dos rodctes que se ajustan al diámetro del tubo para apoyarse mientras roza con una chuchilla en forma de disco que, al girar la herramienta 360°, produce un corte limpio y perpendicular al eje del tubo. También los hay con cuchillas en forma de tijeras.

Se utiliza para cortar tubos rígidos de plástico y metálicos para canalizaciones de circuitos de control para automatismos, alumbrado, etc.

Figura 5.44. *Cortatubos con cuchilla circular tradicional.*

Figura 5.45. *Cortatubos en forma de tijera.*

Figura 5.46. *Forma de corte de un tubo con un cortatubos.*

Tenazas

Es una herramienta muy útil en cualquier taller ya que sirve para realizar cortes de materiales muy duros como el acero, alambres gruesos, tornillos o extracción de clavos.

Figura 5.47. *Tenazas.*

Tijeras de electricista

Es una herramienta formada por cuchillas contrapuestas, basada en la máquina denominada palanca, produciendo corte por cizalladura. Permite cortar diversos tipos de materiales y en especial los cables, que también permite pelarlos cuando se trata de secciones no demasiado grandes. Tiene la particularidad que el mango está protegido por una envolvente de plástico o aislante evitando posibles contactos directos.

Figura 5.48. *Tijeras de electricista.*

Tijeras de chapa

Son similares a las tijeras de electricista pero sirven para cortar chapa metálica de espesores reducidos.

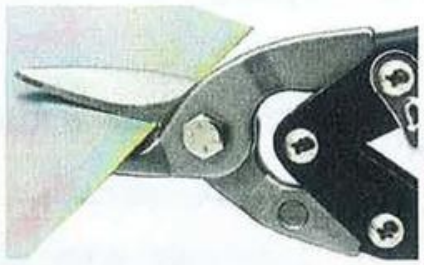


Figura 5.49. *Tijeras para chapa.*

5.5.5. Técnica de limado de material

El limado es una operación de mecanizado que consiste en rebajar los materiales metálicos, plásticos o madera. Consta de diversas partes, distinguiéndose las fases de:

- **Devastado:** se utiliza una lima basta o gruesa para arrancar gran cantidad de material. Deja huellas en la pieza limada. Se emplean escofinas, que se caracterizan por tener dientes triangulares orientados diagonalmente. Se puede encontrar diferentes formatos en función del uso que vaya a darse.
- **Pulido:** se emplean limas entrefinas y finas extrayendo muy poco material, quitando las huellas del devastado o picado.
- **Acabado:** se consigue dejar la pieza perfecta utilizando limas muy finas y en una sola dirección. Se suele utilizar papel de lija del cero o doble cero.

Los tipos de herramientas para la técnica de limado son:

Figura 5.50. *Herramientas para limado.*

Figura 5.51. *Distintos tipos de limas de uso frecuente.*

Algunos de los distintos tipos de limas son:

- **De punta:** cuando se desea realizar ajustes finos se emplea esta lima, ya que es estrecha y fina.
- **De punta curva:** es igual que la anterior, pero tiene los extremos curvos, los cuales pueden llevar dientes para poder trabajar en ángulo.
- **Mediacaña:** es plana por un lado y semicircular por el otro. Por ello es idónea para trabajar en superficies cóncavas y convexas.
- **Plana:** se trata de una lima plana por ambas caras.
- **Rectangular:** es parecida a la anterior, pero además los cantos son paralelos.
- **Redonda o cilíndrica:** es una lima que tiene sección circular y se usa en aquellas aplicaciones donde se necesite trabajar en superficies circulares.

5.5.6. Técnicas para taladrar o perforar

Para realizar orificios en los materiales se emplean útiles que permiten realizar perforaciones. En el caso de aplicar una máquina a elementos denominados brocas, se denomina taladrar. Existen brocas para todo tipo de materiales, siendo las más utilizadas las helicoidales (en forma de hélice) que tienen mango cilíndrico largo o corto, cónico, cuadrado, etc.

Figura 5.52. *Herramientas para perforar material.*

Barrena

La barrena es una herramienta manual para perforar materiales generalmente blandos o de poco espesor. Es una varilla en la que un extremo está acoplado a un mango perpendicularmente y en el otro una punta roscada para realizar la incisión en el material y posteriormente girarla para perforarlo. El cuerpo suele tener forma helicoidal, siendo en realidad una broca con una empuñadura.

Figura 5.53. *Barrena.*

Taladro

Es una máquina herramienta para realizar orificios cilíndricos en materiales. Estos orificios pueden ser pasantes o ciegos. Funciona acoplando en su portabrocas una broca adecuada a la dureza del material y del diámetro necesario. Se pone en movimiento circular mediante un motor eléctrico monofásico.

Figura 5.54. *Taladro de mano.*

Es muy útil en algunos casos utilizar un soporte para mover el taladro de forma lineal y vertical, denominándose taladro de columna.

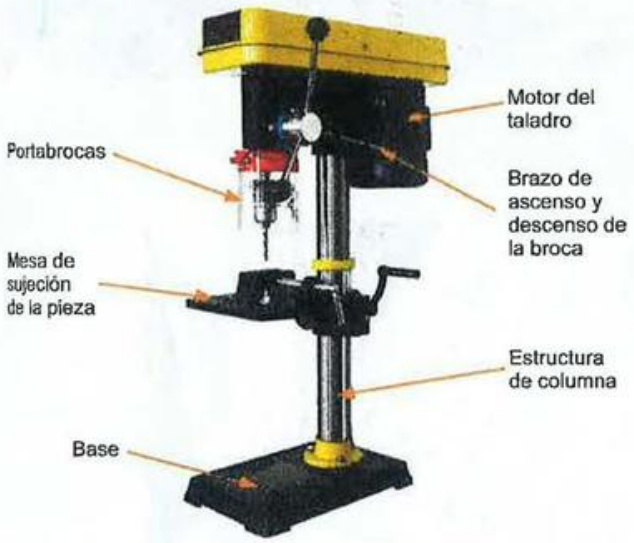


Figura 5.55. *Taladro de columna.*

Las características fundamentales de un taladro son:

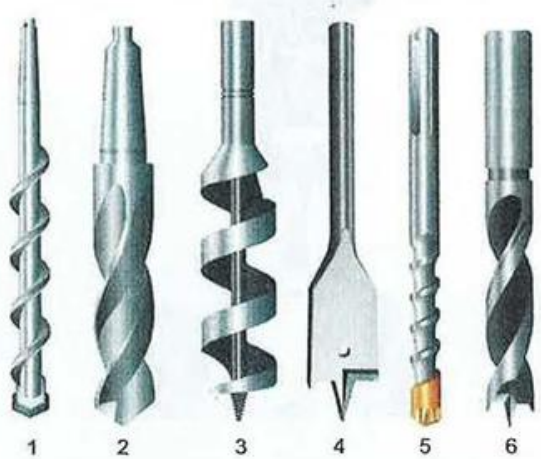
- **Potencia:** los hay de potencia media y alta. Normalmente si es igual o superior a 500 W es suficiente para casi todos los trabajos.
- **Percusión:** pueden tener además del giro de la broca un movimiento de vaivén, que se usa para taladrar materiales de construcción como cerámica, ladrillos, baldosas, etc.
- **Inversión de giro:** permite girar en sentido horario o antihorario permitiendo utilizar el taladro como destornillador.

Brocas, coronas y fresas

Una **broca** es un cilindro con aristas cortantes y con forma helicoidal de tal manera que devasta el material en forma circular extrayendo las virutas al exterior hasta que es perforado.

Hay numerosas clases de brocas que dependen de:

- Longitud de la broca total y longitud de corte.
- Diámetro.
- Tipo de punta: de *widia* para paredes, metal, madera, plástico, para fresar, para puntos de soldadura, etc.
- Ángulo de la hélice: 118°, 130°, 180°, entre otros.
- Material constructivo: cromo, vanadio, acero rápido, titanio o cobalto rectificado y similares.



1. De *widia* para paredes.
2. Para perforar metal.
3. Para madera en taladros muy profundos para la evacuación de viruta.
4. Pala plana para perforar agujeros grandes de madera.
5. Universal para fresar con rompevirutas. Se aplica en materiales como chapa o paredes finas, haciendo con ese tipo de brocas perforaciones más grandes a partir de esta más fina.
6. Universal para todo tipo de madera en general.

Figura 5.56. *Diferentes tipos de brocas en función del material.*

SABÍAS QUE

Las brocas son de acero rápido, de alta velocidad o HSS (*High Speed Steel*).

En cuadros asociados a las instalaciones de automatismos industriales se emplean generalmente los siguientes tipos de brocas:

Brocas HSS cobalto rectificadas: materiales duros. Disipan mejor el calor que las aleadas en titanio.

Brocas HSS aleadas con titanio rectificadas: materiales duros y gran precisión.

Brocas HSS rectificadas: metales, mejor precisión que las laminadas.

Brocas HSS laminadas: más económicas, para metales y plásticos con poca precisión.

Las **coronas o fresas** son elementos para taladrado que constan de una broca en el centro acoplada con una pieza exterior en forma de cilindro terminado en un triscado (dientes de sierra) que es el que devasta el material. La broca sirve para guiar el taladro y la superficie exterior para realizar perforaciones de más diámetro que las brocas y que admite el portabrocas.

Figura 3.57. *Detalle de una perforación de una pieza mediante una fresa.*

También existen otro tipo de brocas en forma **cónica**, en las que su diámetro aumenta a medida que lo hace el avance de la longitud de broca introducida en el material. Es muy utilizada en cuadros eléctricos para ajustar los diámetros de las perforaciones dando la tolerancia adecuada.

Figura 3.58. *Broca con forma cónica.*

Punzonadora

Una punzonadora es una máquina que permite realizar perforaciones en materiales metálicos sin dejar aristas cortantes o rebabas, ni generar limaduras. A esta técnica de mecanizado se la denomina punzonado y es muy útil en cuadros de automatismos.

Consta de una matriz con la forma deseada del corte y que, al ser presionada con un punzón, realiza el orificio, pudiendo ser, entre otros, circular, cuadrado, rectangular, con rebordes, etc.

Normalmente, las punzonadoras suelen ser eléctricas, hidráulicas y robotizadas, aunque un caso particular es el sacabocados, que es para hacer taladros de forma manual.

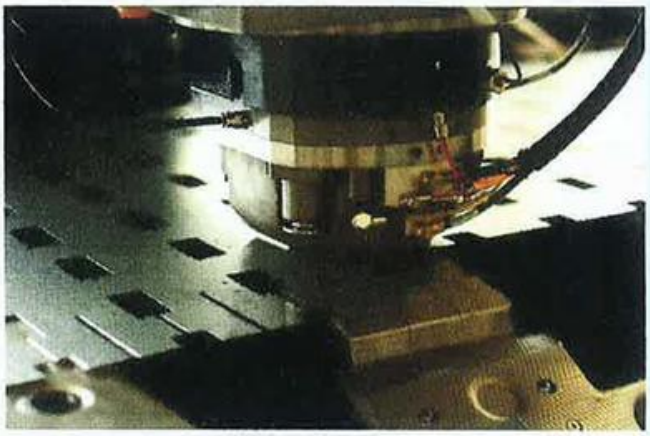


Figura 3.59. *Mecanizado mediante punzonado de chapa galvanizada con matriz en forma rectangular.*

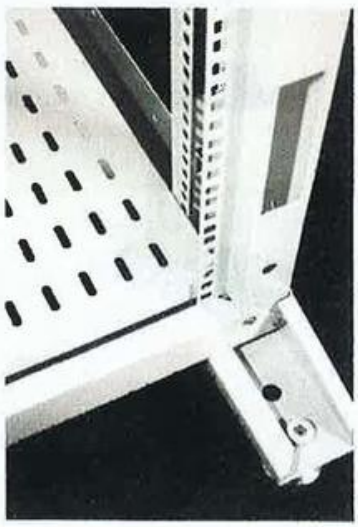


Figura 3.60. *Resultado de mecanización por punzonado con robot en chapa y perfiles galvanizados y pintados para cuadro eléctrico de automatismos.*

Sacabocados

Es una herramienta que, mediante un cilindro hueco, permite hacer agujeros a materiales de poco espesor. Suele tener una ruleta para seleccionar el diámetro deseado.

Figura 5.61. *Sacabocados para perforar materiales.*

5.5.7. Técnicas y elementos para fijar por roscado y remachado

Existen diversas técnicas para unir materiales de forma permanente (remaches) o temporal (elementos roscados).

Figura 5.62. *Herramientas para fijación de materiales.*

Fijación de materiales por roscado

La fijación de materiales mediante roscado consiste en la unión sólida de estos.

Los elementos más empleados para la fijación de partes que pueden requerir movilidad o reajustes son los tornillos, las tuercas, las arandelas, etc.

El roscado consiste en mecanizar una superficie cilíndrica de metal en forma helicoidal, formando una espiral alrededor de su diámetro quedando una parte más saliente que otra interior que es rebajada por corte en frío.

Estos roscados se pueden realizar tanto a cilindros macizos (machos), cuyo elemento más común es el tornillo, como a cilindros huecos (hembras), siendo la tuerca el elemento más común.

Las roscas de fijación son las más comunes empleadas en tornillos, tuercas, pernos, espárragos... para lograr un apriete consistente con tuerca, con rosca chapa o para madera.

El roscado más habitual en cuadros de automatismos es la rosca métrica, indicada en planos con la letra M, y la rosca Whitworth, representada con la letra W.

Tabla 4.1. Diferencias fundamentales entre una rosca métrica y una rosca Whitworth.

	Rosca métrica	Rosca Whitworth
Ángulos de las espiras	60°	55°
Parte externa e interna de los filetes	La parte externa es aplastada y la interna redondeada.	Tanto la parte externa como interna son redondeadas.
Paso	El avance de rosca se indica en mm.	El avance de rosca se indica en número de hilos por pulgada.

Figura 5.63. *Diversos tipos de tornillos, arandelas, tuercas y varillas roscadas.*

SABÍAS QUE

Una terraja de roscar es una herramienta para realizar roscas en una pieza cilíndrica o en una perforación circular realizando los filetes para que se pueda introducir en ella una tuerca o un tornillo respectivamente, con una medida normalizada. También se utiliza para rectificar tornillos y tuercas pasados de rosca y reutilizarlos en caso que tenga una forma específica difícil de conseguir comercialmente.

Para roscar y remachar se emplean herramientas que permiten aplicar presión a elementos diseñados para unir materiales. Estos útiles suelen ser de cromo-vanadio por su alta resistencia mecánica.

Figura 5.64. *Diferentes formas de cabezas para tornillos.*

Fijación de materiales por remachado

Remachar es un proceso de mecanizado para la unión de materiales mediante remaches, que son elementos en forma de cilindro, denominados espárragos, con una cabeza en cada extremo. Suelen ser de aluminio y por tanto deformables al golpearlos. Para ello, se mete el remache dentro de los orificios de los materiales a unir que al deformarlos por presión, quedan perfectamente unidos los materiales, no siendo posible su extracción, solamente mediante introducción de una broca y con el taladro perforándolo extrayendo el remache.

En cuadros eléctricos se emplean para unir chapas.

Figura 5.65. *Remaches.*

La remachadora es una máquina en la que se introduce la parte larga del espárrago del remache y mediante unas mordazas que tiene en su interior y haciendo palanca con los mangos de la herramienta, se deforma el otro extremo consiguiendo unir los dos materiales.

Figura 5.66. *Remachadora.*

SABÍAS QUE

Un roblón es una pieza de acero parecida a un tornillo en su forma pero sin rosca. Se introduce en los agujeros de los metales a unir y, posteriormente, la parte más fina del tornillo contraria a la cabeza se calienta hasta llegar a ser deformable, y mediante golpes toma forma similar a la cabeza, quedando sujetas las piezas metálicas. Es, por tanto, un remachado en caliente.

Destornillador

Es uno de los útiles más utilizados en el taller y en trabajos de campo, ya que se emplea para fijar partes de los cuadros eléctricos, conexiones de la aparamenta y operaciones similares.

Figura 5.67. *Apriete con destornillador de los bornes de la aparamenta.*

RECUERDA

Es necesario apretar periódicamente los terminales de conexión, ya que con el tiempo se aflojan produciendo chisporroteos que derivan en calentamientos y posteriormente la destrucción del equipo.

En un destornillador se distinguen diferentes partes, tal y como se observa en la figura:

Figura 5.68. *Destornilladores aislados para uso eléctrico plano y de estrella.*

Algunos destornilladores poseen un casquillo entre el mango y el vástago. Sirve para ajustar con el extremo del mango, y cuya misión es proteger y acoplar el vástago y la hoja. También los hay con puntas intercambiables para que, manteniendo el destornillador, pueda usarse en diferentes tipos de cabezas de tornillo.

Existen tornillos de tipo Torx que requieren destornilladores especiales, ya que su cabeza tiene forma de estrella de seis puntas en lugar de las cuatro habituales.

SABÍAS QUE

Para seguir utilizando un destornillador con la punta deformada, se puede reparar esta utilizando la piedra de esmeril (roca muy dura para fabricar polvo abrasivo), pudiéndole dar su forma original aunque se pierde el temple y las características primitivas.

Fijación de conexiones mediante tornillo-terminal

Para fijar conexiones, estas han de ser siempre directas, mediante cables y no utilizando partes metálicas como las envolventes como conductor. Para ello se debe fijar los tornillos con sus tuercas y arandelas en función de la métrica del tornillo, para asegurar mediante un terminal apropiado la conexión del conductor.

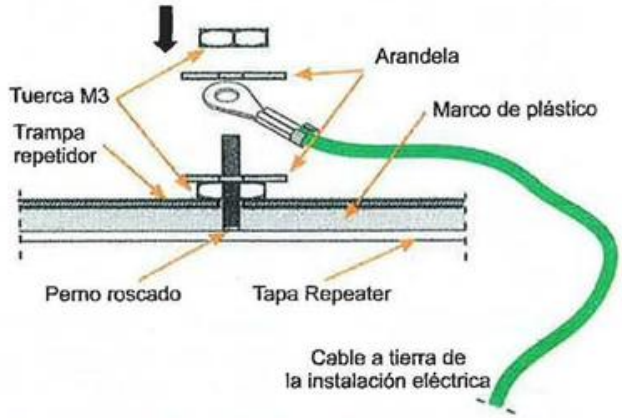


Figura 5.69. *Detalle de piezas y montaje para conectar a tierra una envolvente metálica.*

5.5.8. Técnicas para unir materiales

La unión fija de materiales se puede realizar mediante diversos métodos, en función del material empleado. Los más habituales en la mecanización de cuadros son la soldadura o la aplicación de adhesivos especializados para materiales industriales.

Así pues, tenemos diferentes tipos de soldaduras en función del material o materiales a unir. Algunos tipos de soldaduras son:

- **Soldadura por arco:** se emplea para soldar acero. Se realiza por medio de un arco eléctrico que se aplica a las piezas metálicas a unir, de tal forma que se funden por temperatura y al enfriarse quedan unidas.

Figura 5.70. *Soldadura de perfiles por arco eléctrico.*

- **Soldadura aluminotérmica:** es la empleada para las picas de cobre, railes de los trenes y similares. Consta de un molde de óxido de hierro y aluminio en el que aplicando calor se produce una fuerte reacción exotérmica, desprendiendo calor, de tal forma que se funde la soldadura uniendo los metales.
- **Soldadura oxiacetilénica:** es un tipo de soldadura autógena en la que se sueldan materiales metálicos mediante el calor aportado por la combustión del acetileno (hasta 3.500 °C), que aplicado a unas barras o varillas metálicas se funde aportando el material para unirlos. Sirve para soldar cobre, aluminio, acero, etc.
- **Soldadura blanda con soldador:** es la realizada con soldadores eléctricos en la que se funde plomo con estaño, creando un líquido que es el material que se aporta a la soldadura, principalmente con cobre. Es muy habitual para conexiones eléctricas.

Debido al gran avance en ciencia y resistencia de materiales, se han ido desarrollando **pegamentos** que son capaces de soportar cargas de hasta 350 kg/cm². Dada la facilidad de uso y la gran unión entre materiales, se utilizan cada vez más en el taller eléctrico y mecánico.

Hay diferentes tipos de pegamentos, según sea la naturaleza de los materiales a unir. Se pueden clasificar en:

- Pegamentos de cola de contacto.
- Termofusibles.
- Pegamentos de cristalización.
- Pegamentos de resinas epoxi.
- Pegamentos de soldadura metálica en frío.

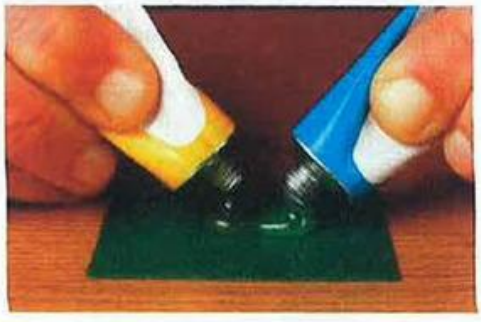


Figura 5.71. Mezcla de dos componentes para unir con pegamento de resina epoxy altamente resistente.

5.5.9. Técnicas para crimpar terminales

El proceso que consigue realizar la presión suficiente en los terminales de punteras y casquillos con los conductores es el crimpado.

Para unir los terminales con los conductores se utilizan pinzas de compresión, también llamadas **crimpadoras o tenazas de engastar**. Al ser los terminales y el conductor maleables, se deforman comprimiéndose con las mordazas de la crimpadora, siendo la propia deformación producida la que mantiene íntimamente unidos el conductor o conductores y el terminal, con una garantizada continuidad eléctrica.

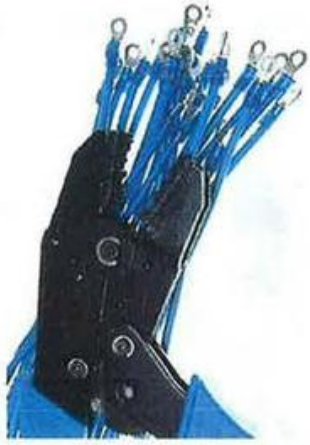


Figura 5.72. *Crimpadora de terminales.*

5.5.10. Técnicas para deformar materiales por golpeo

Para deformar materiales se emplea el martilleado, que es una técnica de mecanizado que consiste en golpear piezas para producir en ellas una forma deseada o para fijar por desplazamiento ejerciendo presión.

Figura 5.73. Herramientas para golpear.

Para no dañar el material se debe cubrir con un elemento como cartón o madera que amortigüe las señales ocasionadas por el impacto del martillo o maza con el material.

En aplicaciones para cuadros de automatismos cabe destacar el **martillo de bola**. Consiste en una masa metálica en la que uno de sus extremos tiene forma esférica que consigue concentrar la percusión en piezas cóncavas o deformar la punta de los roblones, remachado manual, etc.

Figura 5.74. *Martillo de bola empleado en mecanizado de cuadros eléctricos.*

5.5.11. Mecanizado y doblado de tubos y embarrados

Para doblar tubos de acero para canalizaciones y grandes pletinas de cobre electrolítico, estos se deben mecanizar mediante dobladoras de tubo y prensadoras. Suelen ser herramientas costosas, dado que aplican fuertes presiones sobre el material y pueden ser hidráulicas o eléctricas. Para realizar las operaciones de mecanizado para el doblado de materiales con este tipo de máquinas es necesario que lo realice personal cualificado dado que su manejo no es sencillo.

Figura 5.75. *Herramienta para doblado de tubos.*

5.5.12. Técnicas de protección de los materiales

La forma más sencilla de proteger los materiales es mediante pintura o barnizado. Dado que los metales tienen el problema de corroerse por las condiciones ambientales en presencia de oxígeno, se pueden realizar diferentes procedimientos para ello.

Protección frente a agentes electroquímicos

El método más utilizado para la protección contra la corrosión de materiales, normalmente metales para cuadros industriales, es recubrir la pieza con otro metal como el cinc, cadmio, cromo, etc. A este proceso se denomina galvanizado, que puede ser en frío, por inmersión y cincado o electrolítico.

- **Galvanizado en frío:** se trata de una imprimación de cinc aplicada con pistola, brocha o similar. Si se desea galvanizar un material no conductor, previamente se recubre con grafito, para que sea conductor y aplicar este método de cincado.
- **Inmersión en caliente:** dentro de una cuba con ácido se introduce la **pieza metálica a galvanizar** para limpiarla de grasa, polvo y partículas. Posteriormente se extrae la pieza y se introduce en otra cuba de cinc o cadmio fundido a una temperatura en torno a los 450 °C dependiendo del metal protector, produciéndose una aleación que queda adherida a la superficie del hierro.
- **Mediante electrólisis:** es un proceso que consiste en recubrir con un metal protector materiales de hierro, entre otros, obteniendo una capa uniforme que lo protege contra la corrosión evitando así su oxidación. A diferencia de la inmersión, el acabado por electrólisis es más uniforme.

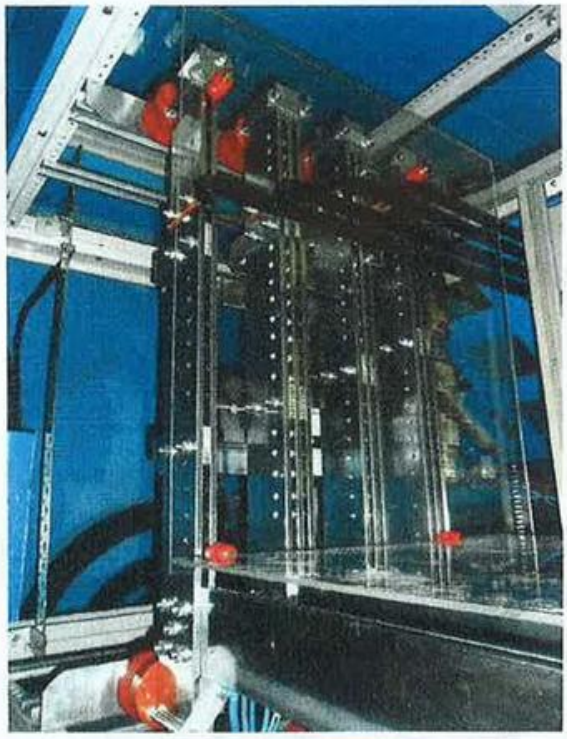


Figura 5.76. *Cuadro con embarrado de cobre cadmiado.*

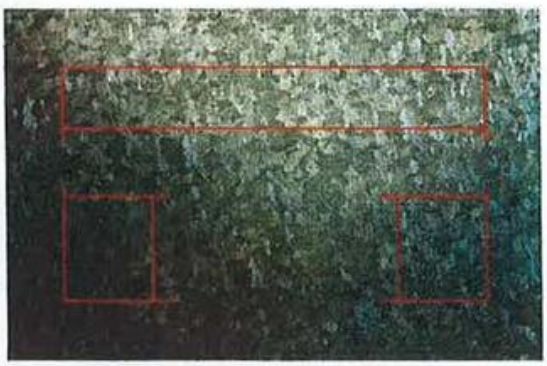
SABÍAS QUE

El objetivo de aplicar pinturas a los cuadros eléctricos o a ciertos materiales en general es proteger contra la oxidación. Los fabricantes de cuadros han de aplicar pinturas que soportan condiciones fisicoquímicas específicas y no simplemente dar una apariencia estética aceptable.

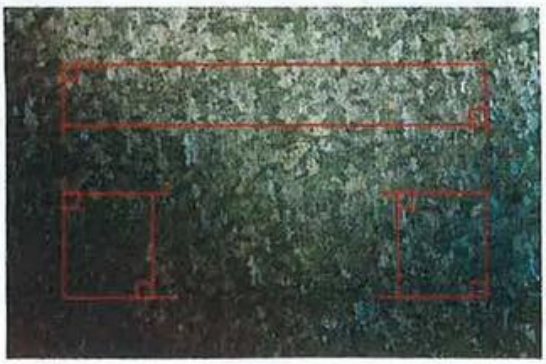
5.5.13. Mecanizado de tapas para los huecos de la aparamenta

Para el correcto mecanizado de las tapas para que las partes frontales de la aparamenta queden visibles en caso de ser chapa galvanizada o material similar, se procede de la siguiente manera:

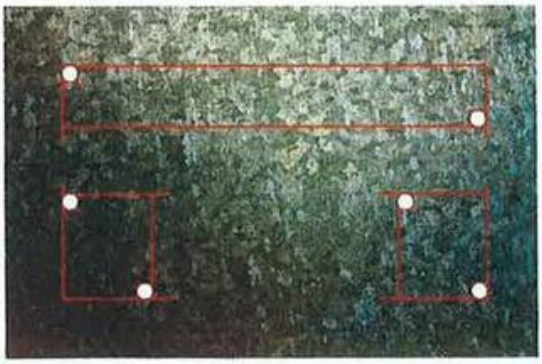
1. Se miden las dimensiones del aparato que atravesará la tapa.
2. Se dibujan las medidas en el material para proceder a su mecanizado.



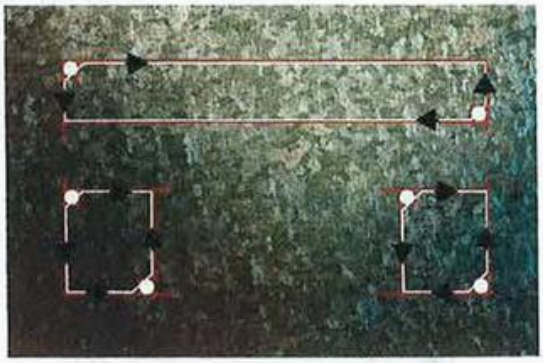
3. A una distancia suficiente, para que entre la hoja de la sierra de calar respecto del borde y en el interior de la zona a mecanizar, se señalan dos puntos de taladro opuestos por cada cajeado.



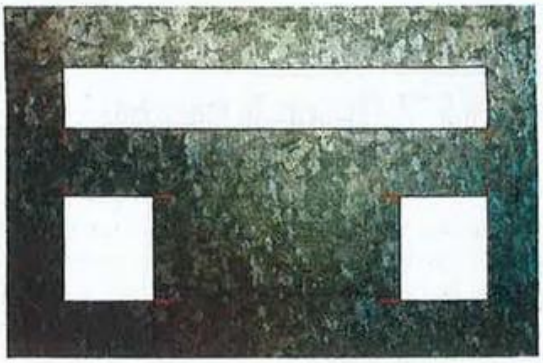
4. Se taladra con una broca metálica en los puntos marcados anteriormente con una broca de diámetro superior al ancho de la hoja de sierra de calar.



5. Se introduce la hoja de sierra por las perforaciones practicadas en el paso anterior, cortando por la línea marcada hasta cada una de las esquinas. En ese momento se para, para introducir la hoja de la sierra de calar en el otro agujero. Se realiza el mismo proceso, se corta hasta las esquinas más cercanas y posteriormente se retira la parte del material cortado.



6. Se corta cada una de las esquinas con la sierra de calar para dejar todas ellas en ángulo recto, dejando ya perforada la chapa con las dimensiones calculadas en el punto primero. Finalmente, se debe limar para eliminar rebabas y conseguir un acabado perfecto.



Además, hay que tener en cuenta que, a veces, en los cuadros eléctricos se pueden dejar mecanizados huecos de reserva para futuras ampliaciones sin el montaje de la aparamenta.

Para evitar contactos directos, es obligatorio tapar con una cubierta que rellene los huecos mediante una pieza llamada **obturador**. Esta se debe mecanizar para que ocupe el espacio exacto.

El resultado en un cuadro de fuerza para automatismos es similar al mostrado en la siguiente figura.

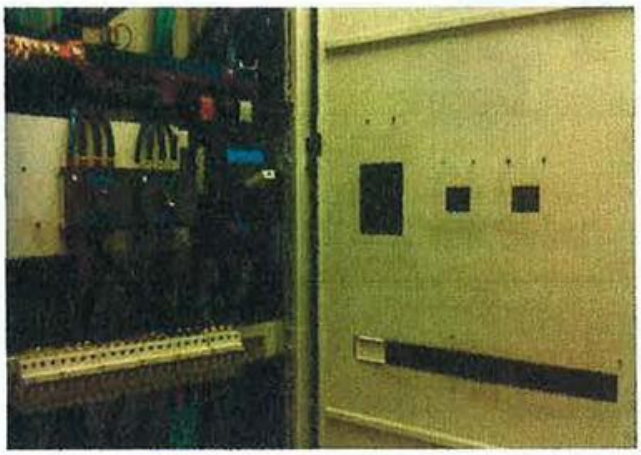


Figura 5.77. *Mecanizado de la puerta de un armario para que al cerrar esta no haya contactos directos.*

5.5.14. Mecanizado y fijación de cuadros para automatismos

Un cuadro eléctrico está formado por diversos componentes que deben ser mecanizados por los procedimientos adecuados estudiados anteriormente.

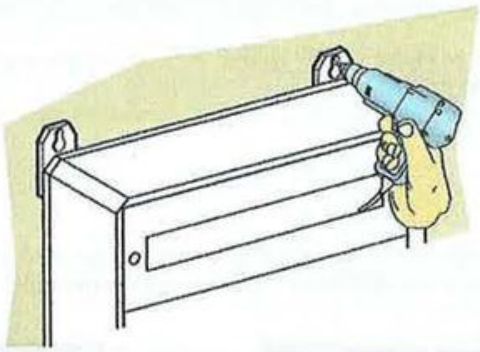


Figura 5.78. *Fijación superficial mediante taladro, taco y atornillado.*

Los cuadros eléctricos deben anclarse firmemente a las superficies a través de elementos como tornillos, anclajes a hormigón, patas y orejas de fijación mural, etc. Además, si el cuadro es metálico, tanto el chasis como la puerta se conectarán a la instalación de puesta a tierra.

Pueden utilizarse peines de conexión para la unión eléctrica de los componentes del cuadro. Cuando su longitud sea mayor a la necesaria, debe mecanizarse cortándose adecuadamente e instalar un aislante en sus extremos para evitar contactos directos.

SABÍAS QUE

Al realizar el mecanizado y montaje de los componentes en un cuadro eléctrico, es recomendable dejar un espacio libre del 25 % para facilitar futuras ampliaciones de la instalación eléctrica. En el interior del cuadro los conductores deben estar instalados de la manera más ordenada posible, discurriendo por un sistema de canales destinadas a tal fin.

5.6. Mecanizado de canalizaciones eléctricas para conductores

Para realizar el trazado de los conductores de entrada y salida a los cuadros para que realicen la transmisión de energía entre ellos, se deben dirigir adecuadamente mediante canalizaciones de diversos materiales que tienen un mecanizado muy diferente entre ellos.

Figura 5.79. *Tipos de canalizaciones y materiales empleados*

5.6.1. Mecanización de canalizaciones bajo tubo

Cuando el método de instalación sea bajo tubo, estos se deben mecanizar adecuadamente según sea el material empleado para estas canalizaciones para los cables.

Tubo de plástico flexible

Es un tipo de tubo fabricado con PVC u otros plásticos flexibles como el polipropileno (PP). Se encuentra estriado en toda su superficie para facilitar su manipulación.

Al ser muy flexible, **no es necesario el uso de herramientas** para realizar su curvado y montaje. El corte se puede llevar a cabo con unas tijeras o una navaja de electricista.

Las uniones y empalmes se realizan uniendo directamente los tubos con cinta aislante y alambre galvanizado.

Su montaje es muy sencillo y su uso se limita a instalaciones empotradas.

Figura 5.80. *Tubo de plástico flexible.*

Tubo de plástico rígido

Es un tipo de tubo fabricado con PVC o termoplásticos, pero más resistente que el tubo flexible corrugado.

Figura 5.81. *Tubo de plástico rígido para curvar en caliente.*

Figura 5.82. *Tubo rígido abocardado para insertar otro y facilitar la mecanización.*

Para su manipulación **es necesario el uso de herramientas especiales**. El curvado se hace en caliente con un *decapador* o un *soplete* y el corte se realiza generalmente con una *sierra de arco*. Puede evitarse el proceso de curvado utilizando piezas acodadas prefabricadas.

Figura 5.83. *Soplete para aplicar calor y doblar tubos de plástico rígido.*

Figura 5.84. *Pieza acodada prefabricada.*

Las uniones entre tubos se llevan a cabo con manguitos de empalme que pueden ser lisos, roscados o termoretráctiles.

Su montaje requiere destreza para realizar tanto el curvado como los empalmes y su uso es válido en instalaciones empotradas y superficiales.

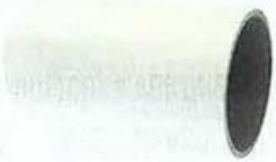


Figura 5.85. *Manguito de empalme de tubos rígidos.*

SABÍAS QUE

El tubo de plástico rígido también es conocido como tubo curvable en caliente.

Tubo metálico

Es un tipo de tubo rígido muy resistente fabricado con aluminio o acero galvanizado para evitar la corrosión.

Figura 5.86. *Tubo metálico rígido enchufable.*

Figura 5.87. *Tubo metálico rígido roscado.*

Para su manipulación, **es necesario el uso de herramientas especiales**. El curvado debe realizarse con una *máquina dobladora de tubos* y el corte con una *sierra para metal* o una *máquina cortadora de tubos*, aunque también es frecuente utilizar codos metálicos prefabricados para evitar el proceso de curvado.

Las uniones entre tubos se llevan a cabo con manguitos de empalme metálicos que pueden ser lisos, roscados o atornillados.

Su montaje es costoso, ya que requiere mucha destreza para realizar tanto el curvado como los empalmes y su uso es válido únicamente en instalaciones superficiales.

Figura 5.88. *Dobladora de tubos.*

Figura 5.89. *Manguito metálico de empalme enchufable.*

Figura 5.90. *Manguito metálico de empalme interior tipo rosca. La rosca puede realizarse con terraja.*

RECUERDA

Los tubos metálicos tienen que estar conectados a la instalación de puesta a tierra.

5.6.2. Técnicas de montaje de accesorios de fijación de tubos

Los tubos en montaje superficial deben anclarse firmemente a las superficies a través de elementos de fijación como abrazaderas, grapas, tacos, tornillos, perchas o fijaciones químicas.

Figura 5.91. *Tornillo de anclaje.*

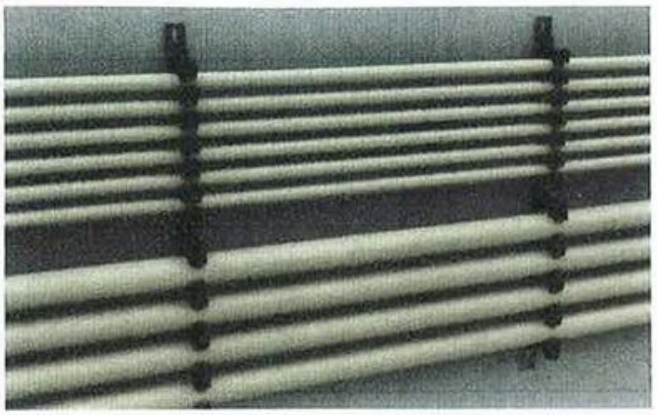


Figura 5.92. *Anclaje de tubos mediante piezas correctamente mecanizadas.*

Para evitar dañar el aislamiento de los conductores, los extremos de los tubos metálicos se deben mecanizar para que estén provistos de boquillas o tener los bordes redondeados.

5.6.3. Mecanización de canalizaciones en bandeja

El tendido de los cables sobre bandeja se utiliza generalmente en **montaje superficial** o en falso techo. La ventaja de este sistema de instalación es el fácil mecanizado y que ofrece distribuir varios grupos de cables pertenecientes a distintos circuitos.

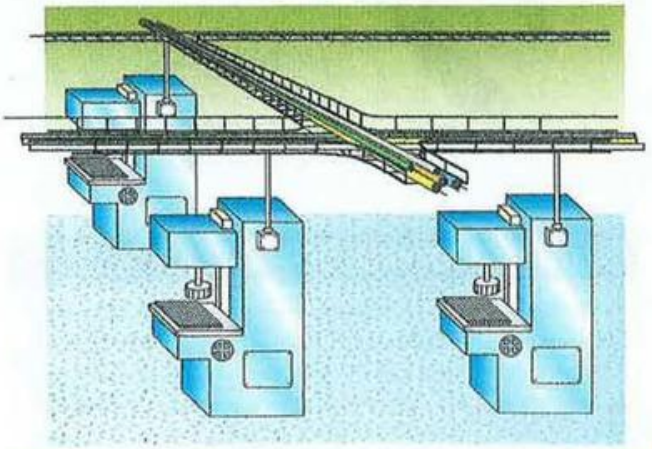


Figura 5.93. *Ejemplo de instalación superficial con bandejas mecanizadas para conectar a cuadros de máquinas industriales.*

Las bandejas se clasifican en tres grupos:

Bandeja lisa

Garantiza una gran protección a los conductores. Puede ser metálica o de material aislante. Se mecanizan para adaptarse a cuadros de automatismos y trazado de las instalaciones.

Bandeja perforada

Similar a la bandeja lisa pero con perforaciones para disipar el calor producido por los conductores. Puede ser metálica o de material aislante.

Figura 5.94. *Bandeja perforada de material aislante.*

Figura 5.95. *Bandeja perforada metálica.*

Los fabricantes de bandejas ponen a disposición accesorios, que son piezas prefabricadas para realizar curvas, conexiones en T, conexiones mecánicas para acoplar las bandejas a los cuadros, etc.

No obstante, aunque es una práctica cada vez menos habitual, es posible realizar el mecanizado de las bandejas de manera manual para realizar giros en su trazado, sin necesidad de adquirir accesorios prefabricados.

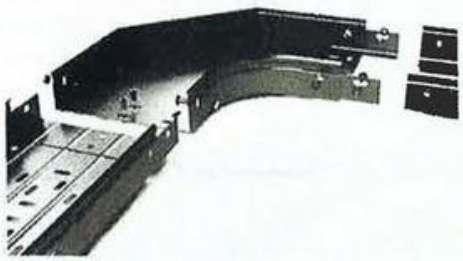


Figura 5.96. *Accesorio prefabricado de una curva a 90° para bandejas.*

Actividad propuesta 5.4

Accede, a través de la página web de la editorial (www.paraninfo.es) a un documento en formato PDF denominado "Técnicas de mecanizado de bandejas lisas y perforadas para giros en su trazado". Por medio de este archivo podrás ampliar tus conocimientos sobre mecanizado de canalizaciones, ya que se explican detalladamente los pasos para conseguir giros a partir de bandejas rectas de manera manual.

Bandeja de rejilla

Es un tipo de bandeja metálica de bajo coste diseñada para garantizar la máxima refrigeración del cableado. Vienen ya mecanizadas de fábrica aunque para adaptarlas a veces es necesario reajustes y unirlas mediante soldadura.

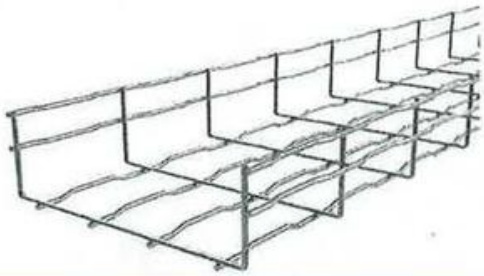


Figura 5.97. *Bandeja de rejilla.*

5.6.4. Mecanizado de bandejas alternativas

Existen canalizaciones para conductores más sofisticadas, que han sido diseñadas para el montaje interior en superficie. Ya vienen prefabricadas y únicamente hay que adaptar el material.

Canal protectora y canaleta

Es un tipo de bandeja lisa o perforada cerrada por una tapa desmontable. Suelen estar fabricadas con materiales aislantes. El mecanizado consiste en cortar a las longitudes deseadas igual que las bandejas. Las tapas suelen instalarse por presión. Además, aunque no es necesario hacerlo, las canaletas pueden ingletearse para dar un mejor aspecto del interior del cuadro.

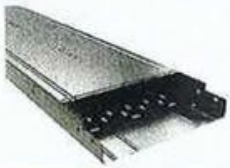


Figura 5.98. *Canal protectora (bandeja con tapa).*

Figura 5.99. *Detalle de cableado interior de una canaleta una vez ubicadas las posiciones de estas y de la aparamenta.*

Canalización eléctrica prefabricada

Es un tipo de canalización en la que los conductores (que pueden ser cables o barras de cobre) ya se encuentran montados en su interior, por lo que en su instalación únicamente hay que realizar el montaje de los mecanismos.

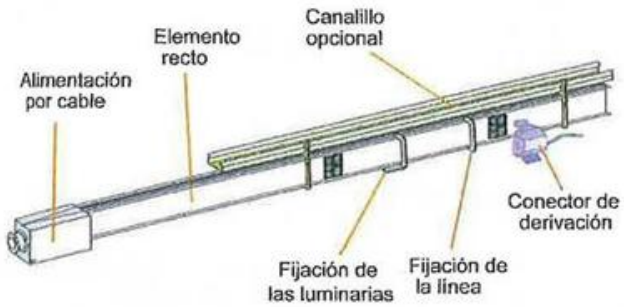


Figura 5.100. *Canalización mecanizada de tipo prefabricada.*

El uso de este tipo de canalizaciones está menos extendido que el montaje bajo tubo o en bandeja, debido a que el coste es mayor y su instalación puede resultar más complicada.

5.6.5. Técnicas de montaje y accesorios de fijación de bandejas y cajas de derivación

Las bandejas deben anclarse firmemente a las superficies a través de elementos como ménsulas, grapas, varillas roscadas, terminales de fijación a viga o anclajes a hormigón.

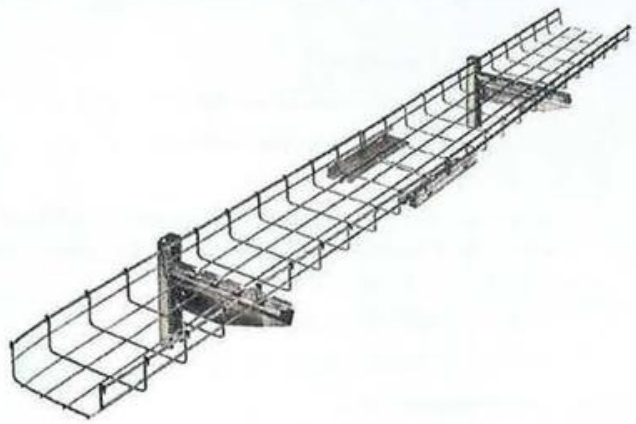


Figura 5.101. *Bandeja instalada sobre ménsulas.*

Figura 5.102. *Accesorios de fijación para bandejas.*

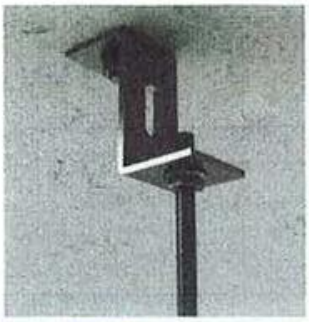


Figura 5.103. *Detalle de fijación al techo de un soporte para bandeja.*

Las bandejas metálicas, además, deben estar conectadas a la instalación de puesta a tierra.

Figura 5.104. *Detalle de conexión a tierra de una bandeja metálica.*

El anclaje de las cajas debe realizarse firmemente a las superficies a través de garras de metal, garras de plástico o tornillos.

Los dispositivos eléctricos que se alojan en las cajas de mecanismos se instalarán mediante tornillos o garras a sus soportes.

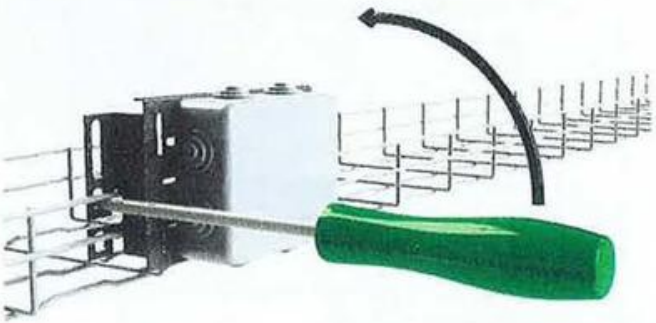


Figura 5.105. *Anclaje de una caja de derivación en una bandeja de rejilla.*

Actividades de comprobación

5.1. El mecanizado de cuadros eléctricos para automatismos consiste en:
- a) Dotar al cuadro de partes mecánicas móviles como las bisagras de las puertas.
- b) Manipular los materiales utilizados para conformar todas sus partes.
- c) Ensamblar el cuadro.

5.2. Para mecanizar correctamente un cuadro, hay que:
- a) Marcar la ubicación de todos los componentes que se montan en la base del cuadro.
- b) Una vez anclados los elementos de la aparamenta, marcar las posiciones de las canaletas para los conductores.
- c) Tomar la medida exacta de los aparatos a ubicar en la puerta del cuadro sin dar tolerancia alguna ya que tienen que quedar fijados con la propia chapa.

5.3. ¿Cuántos milímetros son 3/8 de pulgada?
- a) 0,9525 mm.
- b) 9,525 mm.
- c) 67,73 mm.

5.4. El cobre electrolítico se emplea para:
- a) Alear con otros metales.
- b) Puertas de cuadros eléctricos.
- c) Contactos eléctricos.

5.5. El aluminio es peor conductor que:
- a) Cobre.
- b) Plata.
- c) Cobre y plata.

5.6. El cobre es un metal muy dúctil, esto significa:
- a) Que se puede hacer hilos en frío, para la fabricación de cables.
- b) Que se puede hacer láminas en frío para fabricar embarrados flexibles.
- c) Que es tóxico.

5.7. Una fundición es un material:
- a) Muy resistente a los golpes.
- b) Muy frágil.
- c) Un tipo de acero.

5.8. Los cables con aislante de XLPE (polietileno reticulado) soportan un máximo de 90 °C y los de PVC (policloruro de vinilo) 70 °C a carga constante. Comparando los dos cables de la misma sección de conductor a su carga máxima admisible:
- a) El conductor de XLPE tiene mayor resistencia en Ω/m que el de PVC.
- b) El conductor de PVC tiene mayor resistencia en Ω/m que el de XLPE.
- c) Ambos conductores tienen la misma resistencia ya que es una constante para cada material.

5.9. Un calibre de 50 divisiones tiene una apreciación de:
- a) 0,05.
- b) 0,1.
- c) 0,02.

5.10. Un calibre que tiene una apreciación de 0,01 mm tiene:
- a) 100 divisiones.
- b) 50 divisiones.
- c) 10 divisiones.

5.11. Con un instrumento se ha realizado una medida lineal del espesor de una chapa galvanizada y posteriormente pintada. Su resultado ha sido 1,678 mm, ¿de cuál se trata?
- a) Calibre o pie de rey.
- b) Palmer o micrómetro de tornillo.
- c) Con cualquiera de los dos anteriores.

5.12. Se ha de mecanizar una canaleta de plástico a 90° para cables interiores del cuadro. La forma más práctica para marcar los ángulos a cortar es:
- a) Utilizar una escuadra universal.
- b) Utilizar una falsa escuadra.
- c) Utilizar una regla.

5.13. El punzonado es una técnica de mecanizado que sirve para:
- a) Perforar un material.
- b) Marcar dejando huella en la pieza a mecanizar.
- c) También se llama remachado.

ACTIVIDADES FINALES

5.14. Se desea fabricar un tornillo. Para hacer la rosca, utilizarías una:

a) Terraja.
b) Esmeriladora.
c) Pulidora.

5.15. El galvanizado es un proceso para:

a) Dotar de conductividad al material aplicado.
b) Mejorar sus propiedades mecánicas.
c) Evitar el ataque electroquímico al material.

5.16. El rectificado es un proceso de mecanizado para:

a) Lijar y pulir un material.
b) Limar devastando material para cambiar y rectificar su forma.
c) Cambiar la forma de una pieza según la indicada en planos.

5.17. El mecanizado de bandejas para girar su trayectoria es:

a) Dar movilidad mecánica al material de las bandejas.
b) Efectuar tareas de corte, doblado y sujeción en la bandeja realizando curvas para el trazado de los cables que hay en su interior.
c) Emplear accesorios de sujeción de bandejas al techo para cambiar la dirección del trazado de los cables que hay en su interior.

5.18. El remachado consiste en:

a) Realizar uniones fijas de materiales.
b) Mecanizar un cilindro metálico para hacer un macho de rosca, es decir un tornillo.
c) Realizar uniones desmontables para un fácil desmontaje.

5.19. El cadmiado del cobre es un proceso para:

a) Alear con cadmio el cobre.
b) Dar una protección superficial al cobre para protegerlo contra la corrosión.
c) Marcar con cadmio el cobre para mecanizarlo.

5.20. En una bandeja de 60 × 100 mm, para mecanizar un giro a 45º, la distancia a marcar respecto a la perpendicular es:

a) 4 cm.
b) 10 cm.
c) 400 mm.

Actividades de aplicación

5.1. ¿Qué significa que un material sea dúctil?, ¿y maleable? Indica ejemplos de materiales que lo sean y qué aplicaciones tienen en automatismos industriales.

5.2. El plomo se puede rayar fácilmente, ¿cómo se llama esa propiedad del material?

5.3. ¿Qué diferencias existen entre una regla de medir, un calibre y un tornillo de Palmer? Indica tres ejemplos donde utilizarías cada uno de ellos.

5.4. Clasifica las operaciones de mecanizado más comunes por tipos que se realizan en la preparación de envolventes para la elaboración de cuadros eléctricos.

5.5. ¿En qué consiste la mecanización de graneteado?, ¿y la de punzonado? Pon ejemplos donde aplicarías estas técnicas en cuadros eléctricos.

5.6. ¿En qué se diferencia una rosca métrica de una rosca Whitworth?

5.7. En el mecanizado de un carril DIN en el fondo de un cuadro, ¿qué elemento de fijación utilizarías? Justifica la respuesta.

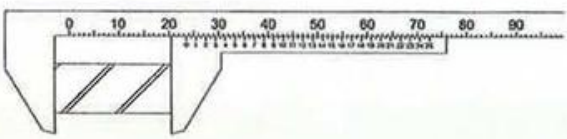
5.8. ¿Qué significa soldar dos metales? ¿Qué tipos de soldaduras conoces? Explica cada uno de ellos.

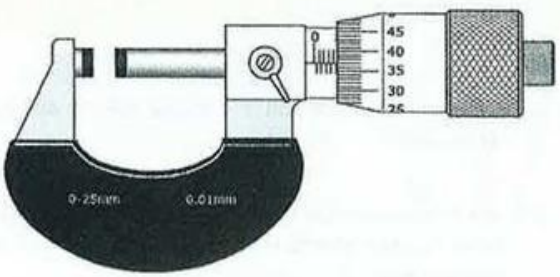
5.9. En el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión se indica que el anillo de tierra se ha de conectar a la estructura metálica del edificio mediante soldadura aluminotérmica o autógena, ¿en qué consisten estas soldaduras?, ¿por qué crees que se exige este tipo y no simplemente por conexión mediante abrazaderas, perrillos o similar?

Casos prácticos

5.1. Identifica los útiles y herramientas de la siguiente figura. ¿Para qué utilizarías cada uno de ellos?

5.2. ¿Cómo se llaman los instrumentos de la figura siguiente? Indica sus mediciones.





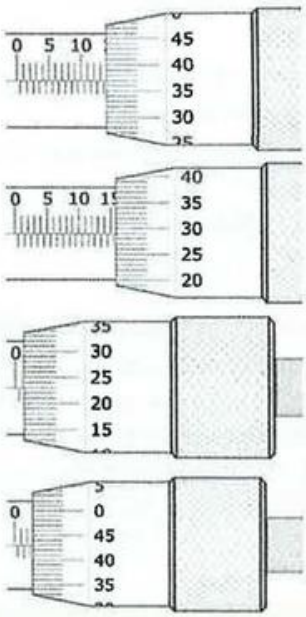
5.3. Accede, a través de la página web de la editorial (www.paraninfo.es) a un documento en formato PDF denominado "Mecanizado de cuadros en taller". Analiza los planos y responde a las siguientes cuestiones:

a) Interpreta los planos de mecanizado de cuadros eléctricos para automatismos (símbolos, representaciones gráficas).

b) Indica cómo lo realizarías, paso por paso, de tal forma que las operaciones a realizar sean secuenciales.

c) ¿Qué herramientas y materiales emplearías para realizar todas las tareas de mecanizado y montaje de todos los elementos del cuadro?

5.4. Indica las medidas obtenidas en las siguientes figuras:



5.5. Convierte a pulgadas cada una de las mediciones obtenidas en los aparatos de medida de los ejercicios anteriores.

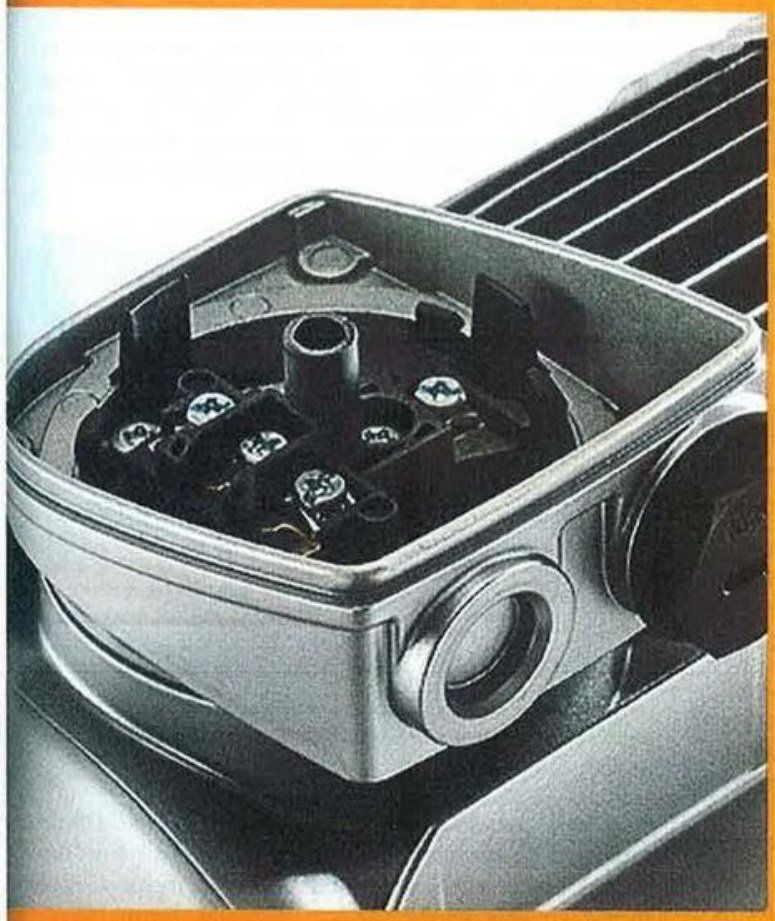
5.6. Los fabricantes disponen de accesorios para realizar curvas de bandejas. ¿Por qué crees que es importante conocer el método de mecanizado para realizar las curvas sin elementos prefabricados?

5.7. Elabora un listado de las herramientas de mecanizado disponibles en tu aula-taller describiendo la función que realiza cada una de ellas.

5.8. Realiza, con una bandeja que tengas en el taller, dos giros a 45° para formar una curva a 90°. Si no dispones de ella en el aula, simula con una cartulina de anchura de bandeja 100 mm y altura de cada uno de los bordes 60 mm (60 × 100), siendo el largo el que corresponda a la cartulina utilizada.

Motores eléctricos

6



La gran mayoría de las instalaciones eléctricas de automatismos industriales tienen como finalidad suministrar energía y poder gestionar el control de máquinas rotativas. Asimismo, existen muchas otras instalaciones en las que los motores eléctricos juegan un papel fundamental, ya que, por ejemplo, cualquier edificio actual dispone de ascensores, montacargas, grupos de bombeo, grupos de presión, puertas eléctricas y otros receptores eléctricos que basan su funcionamiento en un motor. Incluso en las instalaciones domésticas estos dispositivos se encuentran presentes, ya sea una lavadora, nevera, etc.

Dado que los motores eléctricos son posiblemente los receptores más comunes y más importantes de las instalaciones eléctricas, especialmente en el caso de los automatismos industriales, en esta unidad se analizarán sus características fundamentales, así como los métodos de conexionado y configuración.

Contenidos

- 6.1. Introducción a las máquinas eléctricas
- 6.2. Motores trifásicos
- 6.3. Motores de corriente alterna
- 6.4. Motores de corriente continua
- 6.5. Dimensionado de instalaciones eléctricas con motores

Objetivos

- Definir el concepto de máquina eléctrica.
- Clasificar los tipos de máquinas eléctricas rotativas.
- Analizar los parámetros técnicos asociados a los motores eléctricos.
- Dar a conocer las características y métodos de conexionado de los motores de corriente alterna monofásicos y trifásicos.
- Definir las características y métodos de conexionado de los motores de corriente continua.
- Aprender a realizar el dimensionado de instalaciones eléctricas con motores.

6.1. Introducción a las máquinas eléctricas

Una máquina es un componente que transforma una determinada energía en otra del mismo o distinto tipo. Las máquinas eléctricas son convertidores electromecánicos capaces de transformar energía desde un sistema eléctrico a un sistema mecánico, o viceversa, basando su funcionamiento en la inducción electromagnética.

Dentro del campo de las máquinas eléctricas pueden distinguirse básicamente dos grandes tipos: las estáticas y las rotativas.

- Las máquinas eléctricas denominadas **estáticas** son todas aquellas en las que no existe movimiento mecánico, al no disponer de partes móviles. Dentro de las máquinas eléctricas estáticas se incluyen, por ejemplo, los trasformadores, convertidores, reguladores, inversores, etc.

  La máquina estática por excelencia es el transformador de potencia, cuyo cometido es el de convertir energía eléctrica de entrada en energía eléctrica de salida, variando la tensión entre las inductancias del primario y del secundario a potencia constante.

- Las máquinas eléctricas **rotativas**, o **dinámicas**, están provistas de partes mecánicas giratorias, como es el caso de las dinamos, los alternadores y los motores. Dentro de este grupo existe una doble clasificación, ya que los motores consumen energía eléctrica y la convierten en energía mecánica de rotación, mientras que las dinamos y los alternadores (generadores) aprovechan la energía mecánica de rotación para producir energía eléctrica.

Figura 6.1. *Clasificación de las máquinas eléctricas.*

6.1.1. Máquinas eléctricas rotativas

Las máquinas eléctricas rotativas están constituidas por la combinación de circuitos eléctricos y magnéticos que les permite convertir energía entre un sistema mecánico y un sistema eléctrico. Se trata de componentes extremadamente importantes, ya que, por un lado, los equipos que generan energía eléctrica en grandes cantidades son máquinas eléctricas rotativas, y por otro lado, la mayoría de los receptores eléctricos están basados también en este tipo de equipos.

Figura 6.2. *Diagrama funcional de clasificación de las máquinas eléctricas rotativas.*

Dada la constitución interna y el principio de funcionamiento de las máquinas eléctricas rotativas, bajo determinadas circunstancias un motor podría funcionar como generador y un generador podría funcionar como motor.

SABÍAS QUE

Si un motor de CC funciona como generador, se le conoce como **dinamo**.

Si un motor de CA funciona como generador, se le conoce como **alternador**.

La **clase de servicio** a la que pueden estar sometidas las máquinas eléctricas es de cuatro tipos:

- **Servicio continuo:** la carga es constante durante un tiempo suficientemente largo como para que la temperatura llegue a estabilizarse.
- **Servicio continuo variable:** la máquina trabaja constantemente pero la carga es variable.
- **Servicio intermitente:** los tiempos de trabajo están separados por tiempos de reposo.

- **Servicio unihorario:** la máquina está una hora en marcha a un régimen constante superior al continuo, pero no se llega a alcanzar una temperatura que ponga en peligro los materiales aislantes.

Si una máquina eléctrica funciona a la potencia nominal, es decir, a su potencia normal de funcionamiento, se dice que funciona **a plena carga**. Los motores y generadores eléctricos pueden trabajar a media carga, a ¾ de la carga o incluso por encima de la potencia nominal, en sobrecarga.

6.1.2. Clasificación y composición de los motores eléctricos

Dentro del amplio campo que abarca el estudio de las máquinas eléctricas rotativas, a continuación el desarrollo de la unidad se centrará en los motores eléctricos, puesto que en los entornos industriales son el receptor por excelencia, ya que este tipo de instalaciones son puntos de gran consumo.

La **clasificación** de los motores eléctricos depende de varios factores, tal como puede apreciarse en los siguientes diagramas:

Motores de corriente alterna CA

- **De inducción (asíncronos)**
  - Trifásicos
    - De rotor bobinado
    - De jaula de ardilla
  - Monofásicos
    - De condensador
    - De fase partida
    - De espira de sombra
- **Universales**
- **Síncronos**
  - Monofásicos
    - De histéresis
    - De reluctancia
  - Trifásicos

Motores de corriente continua CC

- De excitación *shunt*
- De excitación serie
- De excitación *compound*
- De excitación independiente

Figura 6.3. *Clasificación de los motores eléctricos.*

A los motores de corriente alterna monofásica se les conoce comúnmente como **motores de corriente alterna**. A los motores de corriente alterna trifásica se les conoce comúnmente como **motores trifásicos**.

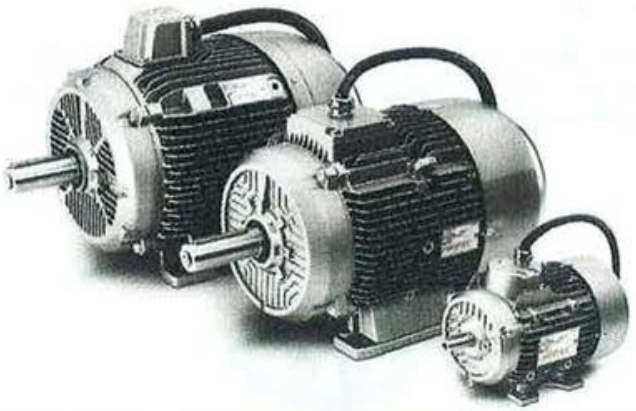


Figura 6.4. *Motores trifásicos. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 6.5. *Motor de corriente continua de alta potencia (1.610 kW). (Cortesía de Siemens.)*

En toda máquina eléctrica se pueden distinguir cuatro tipos de materiales constructivos: materiales activos magnéticos (hierro, acero) y materiales activos eléctricos (cobre, aluminio), materiales aislantes y materiales para la lubricación, ventilación y transmisión mecánica. Particularmente, los motores eléctricos están compuestos por partes fijas y partes móviles, así como por circuitos eléctricos y magnéticos.

De cara al funcionamiento, básicamente se pueden distinguir las siguientes partes fundamentales:

- Estator (y caja de bornes).
- Rotor.
- Entrehierro.
- Otros componentes mecánicos.

Estator, bobinado primario o inductor

Es la parte fija del motor. En él se alojan los devanados a los cuales se conectarán la red eléctrica. Es el elemento que recibe la energía eléctrica y crea el campo magnético.

Figura 6.6. *Sección en alzado de un estator.*

Rotor, bobinado secundario o inducido

Es la parte móvil que gira dentro del estator. Sus devanados reciben la energía magnética del estator y la trasforman en mecánica, al inducirse en ellos una fuerza magnetomotriz que genera un par (fuerza giratoria).

Figura 6.7. *Rotor.*

Entrehierro

Es el espacio de aire que separa el estator del rotor y que permite que pueda existir movimiento. Debe ser lo más reducido posible.

Caja de bornes

Es el lugar donde se realizan las conexiones eléctricas para alimentar a los devanados del estator. Los bornes disponibles dependerán del tipo de motor, de su configuración y de las características de funcionamiento de la máquina. En cualquier caso siempre debe disponer de un borne para la conexión a tierra de las masas metálicas.

Otros componentes mecánicos

En este grupo se incluyen fundamentalmente:

- El eje (y sus posibles acoplamientos).
- Rodamientos.
- Cojinetes.
- Soportes.
- Carcasa externa, platillos y caperuza.
- Ventilador.

SABÍAS QUE

En la actualidad, numerosas industrias cuentan también con generadores eléctricos, cuya energía consumen o venden al mercado eléctrico. Normalmente, utilizan la energía calorífica sobrante de sus procesos productivos (por ejemplo, el calor que desprende un horno de secado) para generar electricidad por medio de un sistema denominado *cogeneración*.

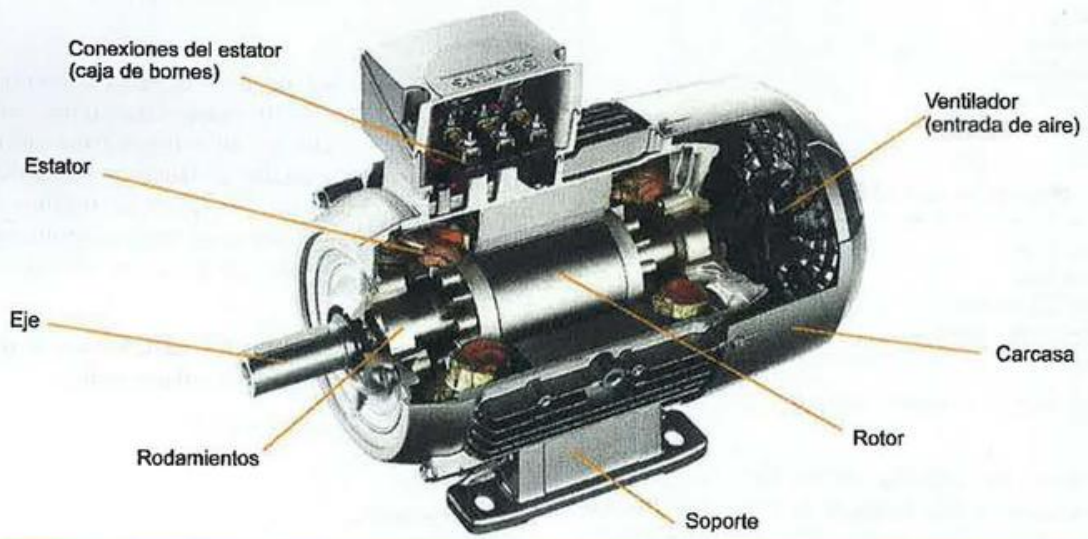


Figura 6.8. *Elementos básicos que constituyen un motor.*

6.2. Motores trifásicos

Los elementos constitutivos más importantes que definen al motor trifásico son el estator y el rotor. El **estator** está formado por devanados trifásicos distribuidos en ranuras colocadas a 120°. El desfase entre los tres devanados dependerá del número de polos magnéticos de la máquina.

Figura 6.9. *Estator de un motor trifásico.*

Respecto al **rotor**, exiten dos posibles configuraciones:

- **Rotor bobinado:** es accesible desde conexiones exteriores. Los extremos de los devanados se encuentran conectados a anillos colectores montados sobre el propio eje del motor. La conexión eléctrica a través del ensamblaje rotativo se realiza mediante un **colector de anillos** y **escobillas**.

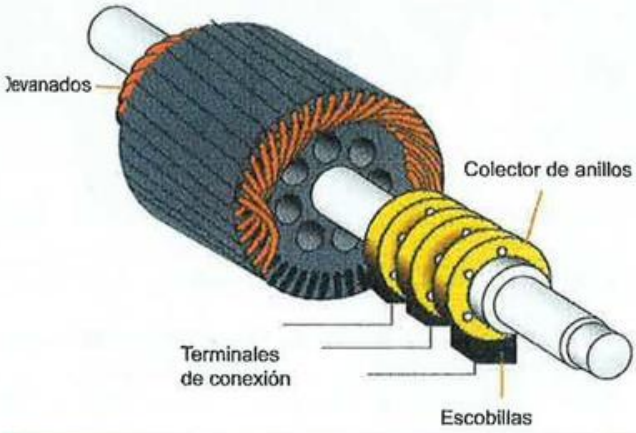


Figura 6.10. *Rotor bobinado.*

- **Rotor cortocircuitado:** los conductores que forman el rotor se ubican en el interior de una jaula compuesta por barras longitudinales de aluminio o cobre, denominada *jaula de ardilla,* y sus extremos se encuentran cortocircuitados de manera que no resulta posible realizar conexiones eléctricas exteriores sobre el rotor.

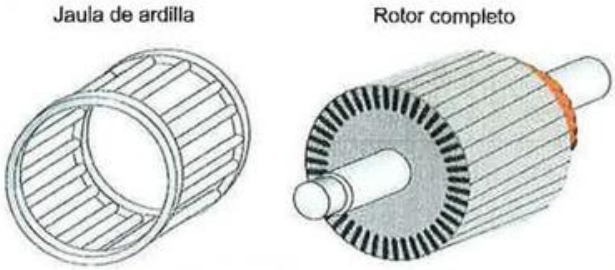


Figura 6.11. *Rotor cortocircuitado.*

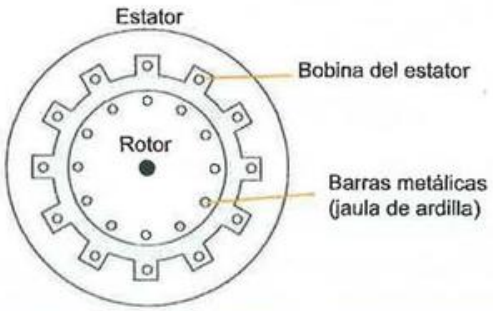


Figura 6.12. *Sección transversal del motor trifásico con rotor en cortocircuito.*

El **principio de funcionamiento** del motor eléctrico trifásico es fácil de comprender una vez analizada su constitución interna. Al alimentar el estator del motor mediante las tres líneas del sistema trifásico se generan campos magnéticos giratorios desfasados 120°.

Por otro lado, en el rotor, que puede estar alimentado externamente (rotor bobinado) o generar corriente inducida por los campos magnéticos del estator al atravesar sus bobinas (rotor en cortocircuito), se genera otro campo magnético giratorio en sentido contrario; de modo que al chocar ambas fuerzas de magnetismo comienza el movimiento de desplazamiento giratorio en la parte móvil de la máquina.

SABÍAS QUE

Si el eje del motor no se encuentra conectado a ninguna carga, se dice que el motor está girando **en vacío**.

Como ocurre con todos los receptores trifásicos, los motores pueden ser conectados de dos formas distintas, que dependerán de la configuración de los devanados internos del estator: la conexión en estrella y la conexión en triángulo.

Conexión en triángulo (Δ)

Se caracteriza porque la tensión de fase de la red eléctrica es la que alimenta directamente a los devanados internos del motor.

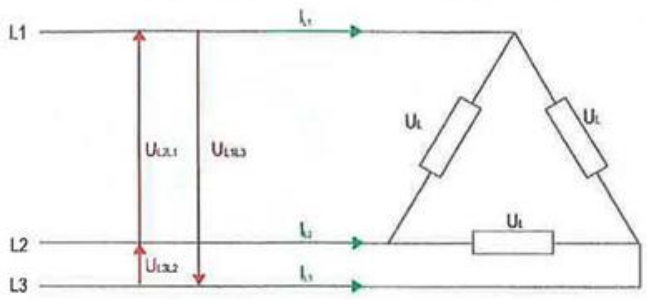


Figura 6.13. *Conexión en triángulo.*

Conexión en estrella (Y)

Se caracteriza porque a los devanados internos del motor se les suministra la tensión de fase de la red eléctrica dividida entre el coeficiente $\sqrt{3}$.

En la conexión del motor trifásico en estrella, a pesar de existir un punto neutro, este no se debe utilizar. No obstante, en algunos países como Italia sí está permitido utilizar el punto neutro del motor para conectar pequeñas cargas monofásicas de maniobra o protección interna. El peligro que representa esta práctica es evidente: la fase a la que son conectadas las cargas monofásicas desequilibra la carga interna del motor y a la larga puede provocar serios daños a la máquina. Es por este motivo que **ese punto neutro no debe utilizarse**, y las cargas monofásicas se alimentarán directamente desde el cuadro eléctrico.

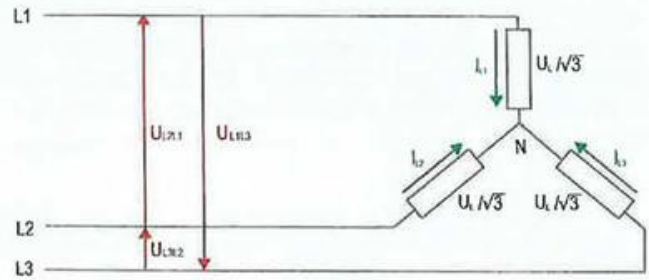


Figura 6.14. *Conexión en estrella.*

6.2.1. Clasificación de los motores trifásicos

Los motores eléctricos trifásicos pueden ser clasificados en función de dos parámetros fundamentales: el principio de funcionamiento y sus características constructivas.

Según el principio de funcionamiento por el cual se genera el movimiento rotatorio del eje, los motores de corriente alterna se dividen en:

- Motores síncronos.
- Motores asíncronos, o de inducción.

Los **motores síncronos** se caracterizan por girar a la velocidad de sincronismo, es decir, la velocidad máxima teórica a la que puede girar el motor para una frecuencia determinada. Esto se debe a que **se alimenta** con energía eléctrica y de manera independiente, tanto **el estator** como **el rotor**.

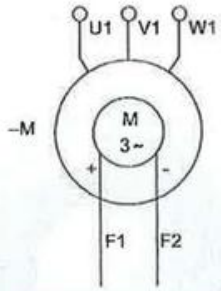


Figura 6.15. *Símbolo genérico del motor síncrono.*

Este tipo de motores no son muy utilizados en las instalaciones industriales, debido al alto coste tanto de la máquina como de su mantenimiento posterior, ya que al tener que alimentar eléctricamente el rotor el desgaste mecánico es muy elevado. De hecho, la utilización de máquinas síncronas es más frecuente en el campo de la generación eléctrica.

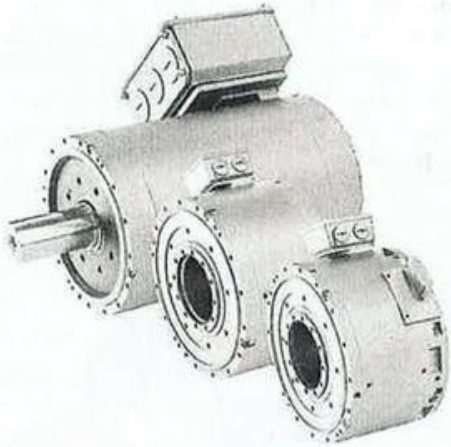


Figura 6.16. *Motores síncronos. (Cortesía de Siemens.)*

Los **motores asíncronos**, conocidos también como **motores de inducción**, se caracterizan por girar a una velocidad ligeramente inferior a la de sincronismo. En estos motores el rotor está cortocircuitado, de manera que no recibe corriente eléctrica directa, sino que esta es inducida mediante los campos magnéticos generados por el estator en los devanados del rotor.

Los motores asíncronos son los más generalizados y utilizados en las instalaciones industriales, debido fundamentalmente a su simplicidad, su facilidad de mantenimiento (en comparación con los síncronos) y la alta eficiencia que ofrecen.

Figura 6.17. *Motor trifásico asíncrono de alta velocidad. (Cortesía de Siemens.)*

Dado que los motores asíncronos son los de uso más frecuente en las instalaciones de automatismos industriales, resulta necesario realizar una clasificación más exhaustiva de los más comunes en función de sus características constructivas particulares:

- **Motor asíncrono trifásico con rotor en cortocircuito (o jaula de ardilla) de conexión directa.** El rotor no es accesible y el estator solo tiene tres bornes de conexión.

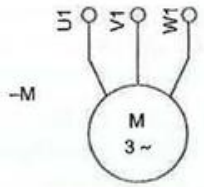


Figura 6.18. *Símbolo de motor asíncrono con rotor en cortocircuito.*

- **Motor asíncrono trifásico con rotor en cortocircuito (o jaula de ardilla) de conexión estrella-triángulo.** El rotor no es accesible, el estator dispone de seis bornes de conexión para realizar conexión en estrella o triángulo según proceda.

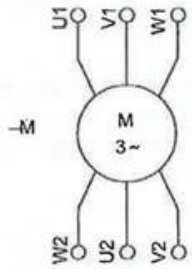


Figura 6.19. *Símbolo de motor asíncrono con rotor en cortocircuito de conexión Y-Δ.*

- **Motor asíncrono trifásico con rotor en doble jaula.** Es similar a los anteriores, pero el rotor se encuentra en el interior de dos jaulas concéntricas.

- **Motor asíncrono trifásico con rotor de anillos (o rotor bobinado).** Los devanados del rotor se encuentran abiertos, por lo que dispone de tres bornes para conectar este elemento en cortocircuito o a través de resistencias. El estator puede disponer de tres o seis bornes, dependiendo de si existe la posibilidad de conexión Y-Δ o no.

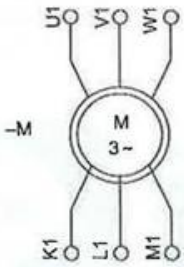


Figura 6.20. *Símbolo de motor asíncrono con rotor bobinado.*

RECUERDA

El rotor de los motores asíncronos o de inducción no se conecta a ninguna fuente de tensión porque sus corrientes son inducidas por el campo giratorio del estator.

- **Motor asíncrono trifásico de dos velocidades con bobinados independientes.** Dispone de dos grupos independientes de bobinas, en el que cada uno equivale a una velocidad.

- **Motor asíncrono trifásico de dos velocidades tipo Dahlander.** Es un tipo de motor en el que con un solo grupo de bobinas se pueden obtener dos velocidades (una el doble que la otra) a partir de una serie de conexiones específicas.

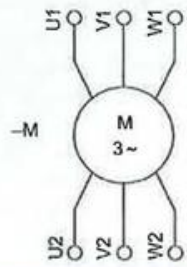


Figura 6.21. *Símbolo de motor asíncrono de dos velocidades.*

6.2.2. Conexionado y caja de bornes del motor trifásico de inducción

En los motores trifásicos se conectan los tres conductores de fase (L1, L2 y L3) y el conductor de puesta a tierra (PE). **Nunca** se conecta el conductor neutro.

La tensión nominal de los devanados del motor debe coincidir con la tensión de línea de la red eléctrica.

La conexión de las fases dependerá del tipo de motor. Cada motor tiene una caja de bornes bien diferenciada, en la que cada borne se identifica con una letra. Es muy importante identificar adecuadamente la nomenclatura de estas conexiones para no cometer errores a la hora de alimentar el motor, ya que podría provocar daños irreversibles en la máquina.

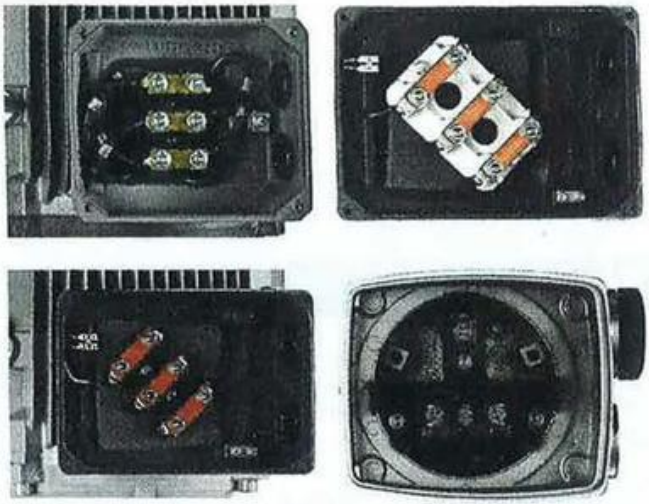


Figura 6.22. *Diferentes modelos de cajas de bornes. (Cortesía de Siemens.)*

A continuación se muestran y detallan los bornes de conexión de los diferentes tipos de motores trifásicos:

Motor de conexión directa

En este tipo de motores, el fabricante fija la conexión interna de los devanados en forma de estrella o triángulo, no pudiendo variarse dicha configuración posteriormente. La tensión indicada de funcionamiento del motor debe coincidir con la tensión de línea de la instalación eléctrica.

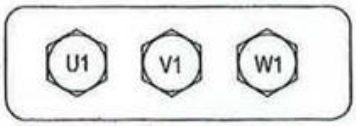


Figura 6.23. *Denominación de la caja de bornes de un motor trifásico de conexión directa.*

RECUERDA

Es muy importante identificar las letras de los bornes en un motor trifásico para realizar adecuadamente las conexiones.

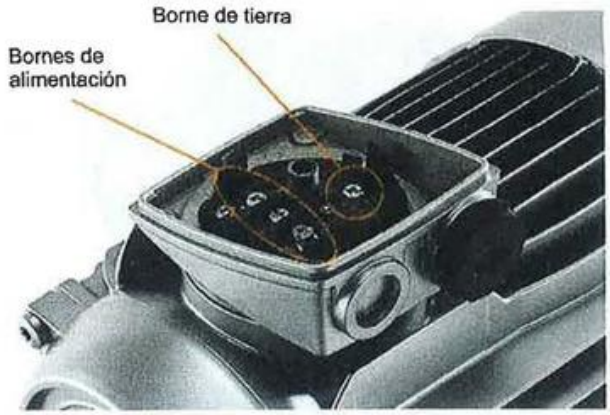


Figura 6.24. *Caja de bornes de un motor de conexión directa. Se pueden apreciar los tres bornes de conexión de los conductores de fase, así como el borne de puesta a tierra. (Cortesía de Siemens.)*

Motor de conexión estrella-triángulo

Dado que los devanados del motor pueden ser conectados en estrella o triángulo, lo más habitual es que los fabricantes de motores dejen esa opción de conexionado *abierta*, es decir, que el usuario pueda elegir la conexión del motor. De esta manera **un único motor podrá ser conectado a dos tensiones distintas**, ampliando su funcionalidad.

En los motores en los que es posible elegir entre la conexión en estrella o la conexión en triángulo, la denominación de la caja de bornes es la siguiente:

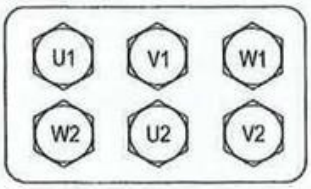


Figura 6.25. *Denominación actual de la caja de bornes de un motor trifásico para la conexión estrella o triángulo.*

No obstante, en la práctica es posible encontrar algunos motores que todavía siguen utilizando la antigua denominación de bornes, por lo que también resulta muy útil conocerla:

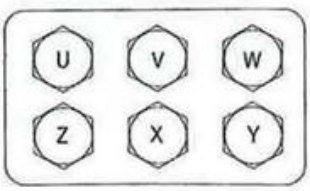


Figura 6.26. *Denominación obsoleta de la caja de bornes de un motor trifásico.*

El motivo de esta denominación tan particular se basa en la disposición de los devanados internos del motor, que como ya se ha comentado, vienen de fábrica sin conexión definida.

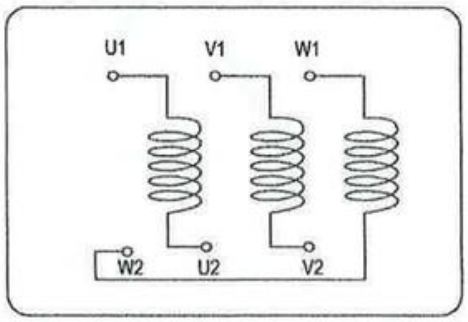


Figura 6.27. *Disposición interna de los devanados del motor trifásico para la conexión estrella o triángulo.*

Actividad propuesta 6.1

A continuación vamos a verificar la disposición de los devanados internos de un motor trifásico de conexión estrella-triángulo. Con la ayuda de un polímetro, en posición de medida de resistencia, anota los valores que obtengas al realizar mediciones entre los bornes del motor indicados a continuación:

U1-W2	U1-U2	V1-U2	V1-V2
V1-W1	W1-W2	W2-V2	W2-U2

Razona y justifica los resultados obtenidos.

Aunque esta disposición de los devanados parezca algo compleja, tiene una explicación: las conexiones exteriores que el usuario del motor debe realizar van a resultar mucho más intuitivas y sencillas de realizar, tal como se muestra a continuación:

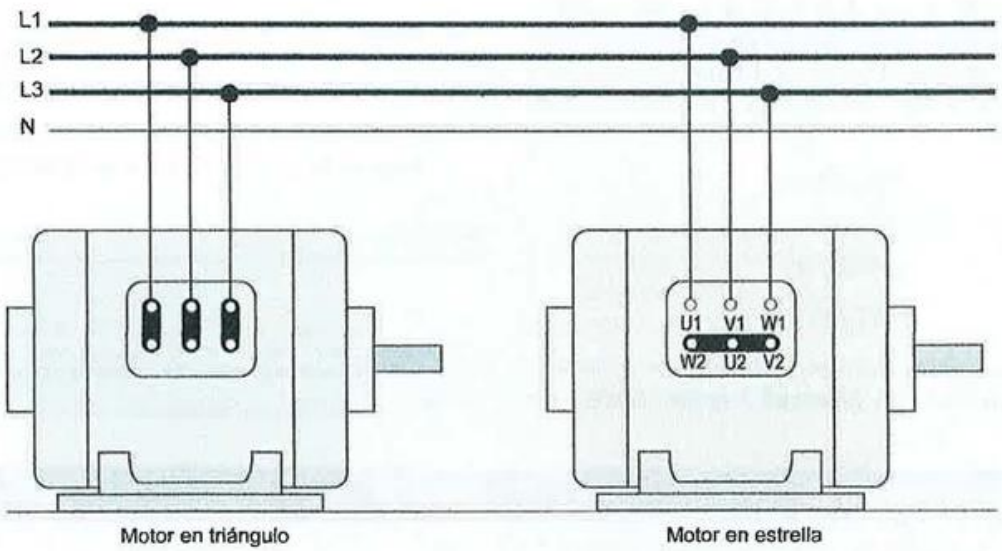
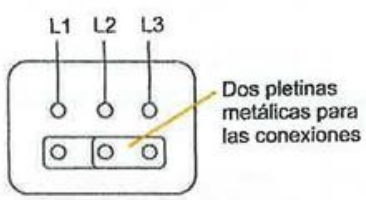
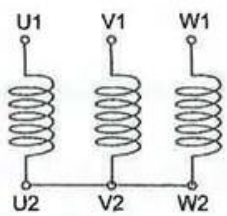


Figura 6.28. *Conexión del motor eléctrico trifásico en estrella o en triángulo.*

Conexión real de la caja de bornes



Configuración interna equivalente de la conexión



Circuito equivalente

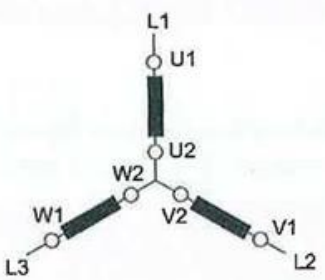


Figura 6.29. *Detalle de la conexión en estrella (Y).*

Figura 6.30. *Detalle de la conexión en triángulo (Δ).*

Gracias a la posibilidad de conexión de un motor eléctrico trifásico en estrella o triángulo, la máquina dispondrá de dos tensiones de funcionamiento. De hecho, **la conexión de la caja de bornes dependerá exclusivamente de la tensión de línea de la instalación eléctrica.**

El fabricante del motor debe indicar las dos posibles tensiones de funcionamiento, que deben guardar una relación matemática en base al factor $\sqrt{3}$. En nuestro país, para motores trifásicos en baja tensión dichas tensiones podrán ser las siguientes:

133/230 V

230/400 V

400/690 V

690/1.200 V

De las dos tensiones ofrecidas, la menor hace referencia a la máxima diferencia de potencial a la que pueden ser sometidos los devanados del motor trifásico. Por tanto, y en base a esto:

- Si la tensión de la instalación eléctrica a la que va a ser conectado el motor es la menor de las dos, la conexión que debe realizarse será triángulo.
- Si la tensión de la instalación eléctrica a la que va a ser conectado el motor es la mayor de las dos, la conexión que debe realizarse será estrella.
- Si la tensión de la instalación eléctrica no coincide con ninguna de las dos, el motor no podrá ser conectado.

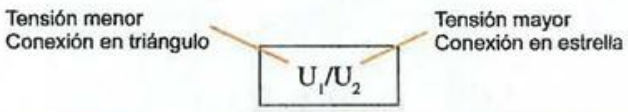


Figura 6.31. *Tensiones del motor trifásico para la conexión estrella o triángulo.*

Actividad propuesta 6.2

Se dispone de un motor trifásico de tensión 230/400 V.

Determina el tipo de conexión del motor y la tensión existente entre sus bornes si este fuese conectado en una instalación eléctrica trifásica de 230 V_{CA} de tensión de línea. El orden de llegada a la placa de bornes es L1, L2 y L3.

Tipo de conexión del motor (Y o Δ)	Tensión (V)						
	W2 – W1	U2 – V2	V2 – W1	W2 – V2	V1 – W2	W1 – U2	U1 – V1

Realiza la misma actividad suponiendo que el motor fuese conectado a una instalación eléctrica de 230 V_{CA} entre cualquier conductor de la línea y el conductor neutro.

Tipo de conexión del motor (Y o Δ)	Tensión (V)						
	W2 – W1	U2 – V2	V2 – W1	W2 – V2	V1 – W2	W1 – U2	U1 – V1

Motor de dos velocidades

En los motores de dos velocidades, ya sean de devanados independientes o tipo Dahlander, la caja de bornes debe contener las tres conexiones propias de cada una de las dos velocidades.

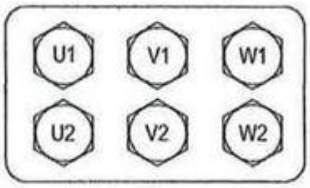


Figura 6.32. *Denominación de la caja de bornes de un motor trifásico de dos velocidades.*

Las tres fases de alimentación eléctrica se conectarán a un único grupo de bornes del estátor (U1V1W1 o U2V2W2) en función de la velocidad que se desee escoger para el eje del motor. Bajo ningún concepto podrán alimentarse ambos grupos de manera simultánea, dado que esto podría ocasionar daños irreversibles en el interior del motor.

RECUERDA

El marcado de la caja de bornes de los motores de dos velocidades y de los motores de conexión estrella-triángulo es muy parecido, y un error en las conexiones podría causar grandes daños en la máquina.

En los motores de dos velocidades solo se conectan la mitad de los bornes, mientras que en los motores estrella-triángulo deben conectarse todos.

Motor de inducción de rotor accesible

En la caja de bornes de los motores de inducción de rotor accesible debe existir un grupo especial de tres conexiones para maniobrar sobre los devanados del rotor, como por ejemplo, si fuese necesario conectar una batería de resistencias de arranque.

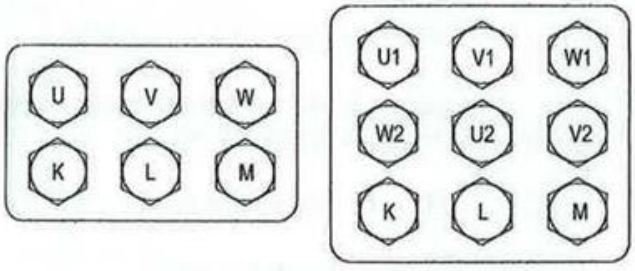


Figura 6.33. *Denominación de las cajas de bornes asociadas al motor de inducción de rotor accesible.*

Si no fuese necesario realizar maniobras sobre el rotor, los bornes correspondientes K-L-M deberán ser **cortocircuitados**. En caso de no realizar esta maniobra el circuito del rotor quedaría abierto, lo que produciría que en el eje del motor no se obtuviese movimiento giratorio, dado que el estátor no podría inducir las corrientes en los devanados del rotor.

6.2.3. Fundamentos técnicos del motor trifásico de inducción

Los parámetros técnicos asociados al funcionamiento de los motores trifásicos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.1. Parámetros característicos de los motores eléctricos trifásicos.

Tensión nominal	Intensidad nominal	Intensidad de arranque	Frecuencia	Factor de potencia
Pares de polos	Potencias	Par motor	Velocidad y deslizamiento	Rendimiento

Tensión nominal (U_N)

Es la diferencia de potencial, expresada en voltios (V), a la que trabaja el motor en condiciones normales. Como ya se ha estudiado, dependiendo del tipo de motor, este podrá disponer de una o varias tensiones de funcionamiento.

Intensidad nominal (I_N)

Es la intensidad de trabajo, aquella para la que el estator del motor está diseñado para funcionar en condiciones normales. Se expresa en amperios (A).

La intensidad nominal de los motores influye directamente en el calibre de los dispositivos de protección, la sección de conductores y canalizaciones, las caídas de tensión, etc.

Intensidad de arranque (I_a)

La intensidad de arranque es la que demanda el motor en el momento en el que es conectado a la red eléctrica. Como será analizado en apartados posteriores, esta intensidad es más elevada que la nominal, por lo que en la mayoría de los casos deberá ser limitada.

La intensidad de arranque puede expresarse en amperios (A) o como un factor de relación con respecto a la intensidad nominal:

$$I_a = n \times I_N$$

Frecuencia (*f*)

Los motores eléctricos están diseñados para ser utilizados a una o varias frecuencias de funcionamiento, expresadas en hercios (Hz). Si, por ejemplo, un motor es conectado a una red eléctrica de frecuencia superior a la que marca el fabricante, su velocidad se verá incrementada y la fuerza que ofrece en el eje se verá reducida. Esto podría ocasionar daños en el equipo, especialmente en motores de gran potencia.

Factor de potencia (cos φ)

Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente del motor, expresándose siempre mediante un valor numérico comprendido entre 0 y 1. En motores asíncronos el factor de potencia suele estar comprendido entre 0,7 y 0,85, siendo algo más elevado en motores síncronos.

Pares de polos (*P*)

Los puntos de máxima fuerza de atracción magnética del interior del motor se denominan polos. Puesto que un imán o un electroimán siempre van a tener dos polos (norte y sur), estos se contabilizan mediante números pares para simplificar. El número de pares de polos de los que constará un motor dependerá del fabricante.

$$P = \frac{p}{2}$$

Donde:

P = pares de polos

p = polos

Potencias

Genéricamente, la potencia puede definirse como la energía desarrollada por unidad de tiempo. En un motor eléctrico se puede distinguir entre dos tipos de potencia:

- **Potencia eléctrica activa (*P*):** es la que el motor absorbe de la red eléctrica a través del estátor. Generalmente se expresa en kW. Esta potencia también puede ser denominada como potencia nominal, potencia absorbida, potencia de entrada o potencia de red.
- **Potencia eléctrica reactiva (*Q*):** es la que el motor utiliza para generar los campos magnéticos giratorios que dan el movimiento al rotor. Se mide en kVAr.
- **Potencia mecánica (P_{Mec}):** es la que el motor cede a la carga a través del movimiento de su eje. Generalmente se expresa en caballos de vapor (CV), y en algunas ocasiones en caballos de potencia (HP). La potencia mecánica de un motor puede ser también denominada potencia útil, potencia en el eje, potencia entregada o potencia de salida.

En ocasiones resulta necesario realizar conversiones entre las diferentes unidades de potencia asociadas al motor. Para realizar dicha tarea, es necesario conocer las equivalencias entre las mismas, que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6.2. Conversión entre unidades de potencia asociadas a los motores.

1 CV = 0,735 kW
1 HP = 0,746 kW
1 HP = 1,01387 CV

Actividad propuesta 6.3

Para familiarizarte con las diferentes unidades de medida de potencia asociadas a los motores eléctricos, completa la siguiente tabla:

	CV	HP	kW	W
a)			1,5	
b)		75		
c)	8			
d)			33	
e)				25.200
f)		4,5		
g)	24			

La potencia eléctrica activa demandada por un motor eléctrico trifásico debe venir siempre indicada por el fabricante. No obstante, si se desconoce dicho valor, será posible obtenerlo a partir de la siguiente fórmula:

$$P_{M3\sim} = \sqrt{3} \times U_L \times I_L \times \cos\varphi = 3 \times U_F \times I_F \times \cos\varphi$$

En lo que respecta a la potencia reactiva, puede obtenerse mediante una ecuación independiente:

$$Q_{M3\sim} = \sqrt{3} \times U_L \times I_L \times \operatorname{sen}\varphi = 3 \times U_F \times I_F \times \operatorname{sen}\varphi$$

O a partir del valor de la potencia activa:

$$Q = P \times \operatorname{tg}\varphi$$

Donde:

$P_{M3\sim}$ = potencia activa del motor trifásico (W)
$Q_{M3\sim}$ = potencia reactiva del motor trifásico (VA)
U_L = tensión de línea (V)
U_F = tensión de fase (V)
I_L = intensidad de línea (A)
I_F = intensidad de fase (A)
cos φ = factor de potencia

Velocidad y deslizamiento

La velocidad del motor, al basarse en un movimiento giratorio, se expresa en revoluciones por minuto. La velocidad máxima teórica a la que podría girar el motor eléctrico es la velocidad de su campo magnético giratorio. Esta velocidad, denominada **velocidad de sincronismo**, depende de la frecuencia a que se alimenta el estator y del número de polos del motor. Se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$n_s = \frac{60 \times f}{P}$$

Siendo:

n_s = velocidad de sincronismo (rpm o min^{-1})
f = frecuencia de la red eléctrica (Hz)
P = número de pares de polos

La velocidad que puede llegar a alcanzar el rotor de un **motor síncrono** será igual a la **velocidad de sincronismo** ya definida. Sin embargo, en los **motores asíncronos**, la velocidad del rotor será **ligeramente inferior** a la de sincronismo, en función de un parámetro denominado **deslizamiento**.

La velocidad nominal de rotor en los motores asíncronos puede obtenerse a partir de la siguiente ecuación:

$$n_n = \frac{60 \times f}{P} \times (1 - s)$$

Siendo:

n_n = velocidad nominal del motor (rpm o min^{-1})
f = frecuencia de la red eléctrica (Hz)
P = número de pares de polos
s = deslizamiento

El deslizamiento, por tanto, puede ser definido como la diferencia entre la velocidad del rotor y la velocidad del campo magnético rotativo.

$$s = n_s - n_n$$

Este factor, expresado en valor porcentual, suele oscilar entre el 2 % y el 4 % de la velocidad de sincronismo cuando el motor se encuentra sin carga.

Cuando se aplica carga a un motor, puesto que el par se incrementa y la velocidad del rotor disminuye, el deslizamiento puede alcanzar valores de hasta el 12 %.

$$s = \frac{n_s - n_n}{n_s} \times 100 \quad \text{[Valor porcentual]}$$

Actividad resuelta 6.1

Calcula la velocidad de sincronismo (en revoluciones por minuto) que tendría un motor de 2 polos funcionando en una red eléctrica de 50 Hz de frecuencia.

Realiza el mismo cálculo si el motor tuviese 4, 6, 8 y 12 polos.

Realiza la misma actividad si el mismo motor funcionase en una red eléctrica de 60 Hz de frecuencia.

Solución:

Número de polos	2	4	6	8	12
Pares de polos	1	2	3	4	6
n_s (rpm) a 50 Hz	3.000	1.500	1.000	750	500
n_s (rpm) a 60 Hz	3.600	1.800	1.200	900	600

Par motor (M)

El par motor, también denominado *torque*, puede definirse de una manera sencilla como la fuerza que el motor es capaz de ejercer sobre su eje. Se expresa en Nm (newtons × metro).

La potencia desarrollada por el par motor es proporcional a la velocidad angular del eje de transmisión, tal como se indica en la siguiente expresión:

$$P = M \times \omega$$

Siendo:

P = potencia en el eje del motor (W)
M = par motor (Nm)
ω = velocidad angular del eje (rad/s)

Dado que la velocidad que puede alcanzar el motor no suele expresarse en rad/s, sino en revoluciones por minuto (rpm), existe otra fórmula equivalente derivada de la anterior mucho más utilizada para hallar el par transmitido por

el eje del motor, teniendo en cuenta que 1 rad/s equivale a 9,5493 rpm:

$$M = \frac{9{,}5493 \times P}{n}$$

Donde:

M = par motor (Nm)
P = potencia en el eje del motor (W)
n = velocidad del motor (rpm)

Rendimiento (η)

La energía eléctrica que el motor absorbe de la red de alimentación no llega íntegramente al eje de rotación, puesto que durante la conversión de esta energía en energía mecánica se producen una serie de pérdidas.

Esta diferencia entre la potencia entrante y la potencia entregada se debe fundamentalmente a los siguientes factores: el calentamiento de los conductores de cobre (efecto Joule), las pérdidas magnéticas en hierro y entrehierro (histéresis, corrientes parásitas, flujo disperso) y las pérdidas mecánicas asociadas a la ventilación y rozamiento.

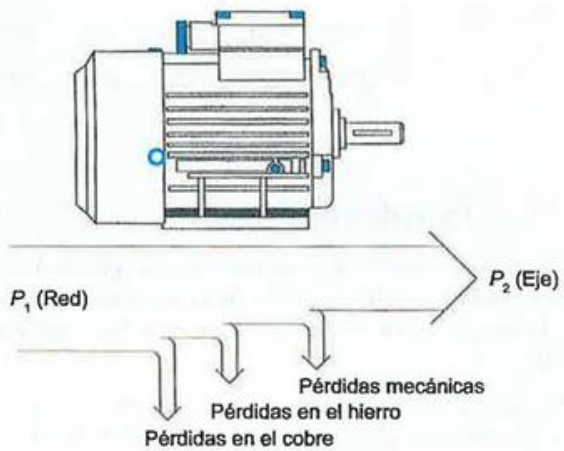


Figura 6.34. *Balance de potencias en el motor eléctrico.*

La relación entre la potencia de salida y la de entrada es lo que se conoce como rendimiento.

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{pérdidas}}$$

Donde:

η = Rendimiento
P_1 = Potencia eléctrica de entrada al estator (W)
P_2 = Potencia mecánica de salida en el eje (W)

Si se multiplica el resultado de la ecuación por 100 se obtiene este parámetro en valor porcentual.

El rendimiento típico de un motor trifásico suele situarse entre 0,75 y 0,92, dependiendo del fabricante, del tamaño del motor y del número de pares de polos.

RECUERDA

La potencia de entrada al motor también se denomina potencia eléctrica, potencia absorbida o potencia de red. La potencia de salida en el eje también se denomina potencia entregada, potencia útil o potencia mecánica.

6.2.4. Placa de características

La placa de características es una pequeña chapa metálica que se coloca sobre la carcasa externa del motor en un lugar visible. Contiene el conjunto de las condiciones de servicio de funcionamiento normal y los datos técnicos más importantes establecidos por el fabricante.

La placa de características de un motor trifásico suele contener la siguiente información mínima:

- Fabricante y modelo.
- Tipo de motor.
- Tensión/tensiones de alimentación.
- Intensidad/intensidades nominales.
- Potencia activa nominal (absorbida).
- Factor de potencia.
- Velocidad.
- Rendimiento.
- Frecuencia/frecuencias de funcionamiento.
- Fecha de fabricación.
- Norma de construcción y marcado CE.
- Grado de protección IP.
- Peso (en kg).
- Clase de motor (A, B, C, D o F).

Figura 6.35. *Ejemplo de placa de características de dos motores de distinto fabricante.*

6.2.5. Curva característica de par-velocidad de un motor de inducción

La gráfica más característica asociada a un motor es aquella en la que se muestra la denominada curva par-velocidad, que relaciona las variaciones de fuerza (par) que el motor ofrece en su eje en función de la velocidad de rotación y del par resistente, que es la oposición que el propio sistema ejerce al movimiento del mismo, fundamentalmente debido al rozamiento.

Al comenzar el funcionamiento del motor (para lo cual es necesario que el par de arranque sea mayor que el par resistente), el sistema se desplaza hasta un punto de equilibrio entre el par motor y el par resistente. En ese punto, se dice que el motor se encuentra en condiciones de funcionamiento nominales.

La velocidad de funcionamiento del motor, por tanto, viene fijada por el punto para el cual el par que el motor puede suministrar es igual al par que la carga precisa para funcionar.

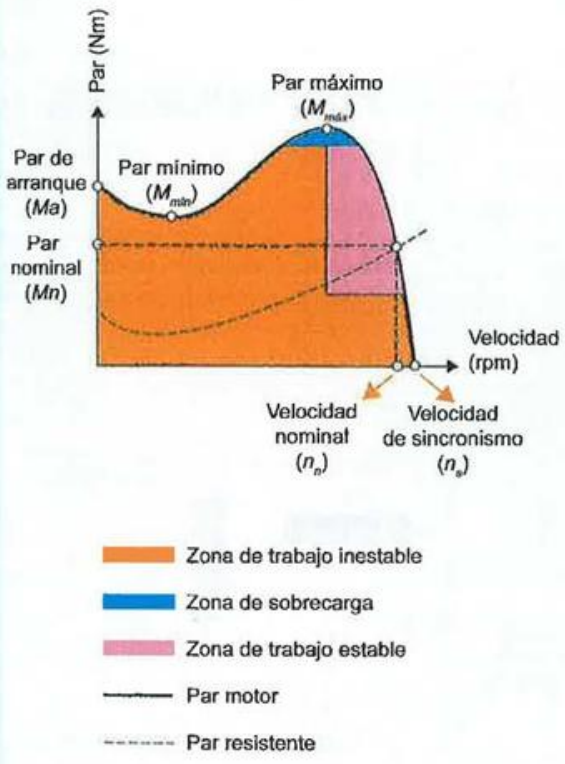


Figura 6.36. *Curva característica par-velocidad de un motor.*

También resulta posible relacionar esta curva característica del motor con la intensidad de corriente que los devanados del rotor demandan de la red eléctrica, quedando tal como se muestra en la siguiente figura:

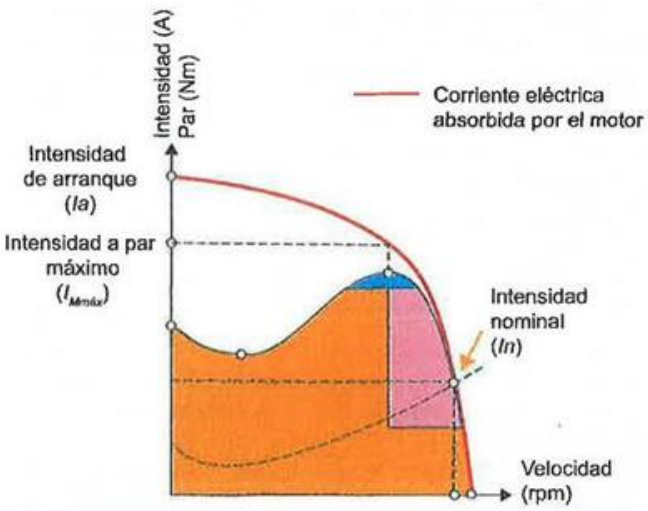


Figura 6.37. *Curva característica par-velocidad-intensidad de un motor.*

Analizando las curvas características del motor, puede establecerse que durante el funcionamiento de la máquina existen varias fases diferenciadas:

- **Régimen nominal:** el motor funciona en condiciones de intensidad nominal, par nominal y velocidad nominal, manteniendo dicha velocidad constante.
- **Aceleración del motor:** es el tiempo que transcurre desde que la máquina comienza su movimiento hasta que alcanza el punto de trabajo nominal.
- **Zona de sobrecarga:** es la zona de trabajo donde el motor puede aportar el máximo par posible ($M_{máx}$), es decir, donde el motor tiene más fuerza. En estas condiciones el motor se encuentra sobrecargado, de manera que si permanece en este estado demasiado tiempo se acabarían quemando los devanados.

  Al conectar una carga en el eje de un motor que se encuentre girando en vacío, la velocidad del motor disminuirá, lo que produce que aumente la demanda de corriente eléctrica (sobrecarga) para intentar llevar al motor a su velocidad de funcionamiento nominal. Si la carga es muy pesada y el motor no puede llegar a alcanzar su velocidad normal, permanecerá en estado de sobrecarga.
- **Punto de arranque:** es el momento en el que el motor es conectado a la red eléctrica. En ese instante los devanados deben crear un campo magnético suficientemente grande como para que el eje del motor pueda vencer las fuerzas de rozamiento y de inercia. Por este motivo, es el momento en el que se demanda una mayor cantidad de intensidad. En condiciones normales, puede establecerse por tanto que la intensidad en el arranque del motor es la intensidad máxima demandada por el mismo.

Durante la fase de arranque un motor eléctrico puede llegar a demandar, durante unos pocos segundos, una intensidad entre 2 y 10 veces superior a la intensidad nominal, dependiendo de las características internas y la potencia del mismo.

Esta circunstancia de funcionamiento, conocida como **arranque directo**, supone un gran inconveniente para las instalaciones eléctricas, ya que ese pico de corriente inicial puede producir disparos intempestivos de los dispositivos de conexión, perturbaciones en la red eléctrica, daños en otros equipos y componentes, etc.

De hecho, el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece que únicamente podrán ser conectados a la red eléctrica en arranque directo los motores de potencia nominal igual o inferior a 750 W. Para potencias de funcionamiento superiores será necesario y obligatorio que los motores estén provistos de dispositivos o sistemas que limiten la intensidad de arranque. Estos **métodos de arranque** podrán ser:

- Arranques realizados mediante lógica cableada:
  - — Arranque estrella-triángulo (Y-Δ).
  - — Arranque mediante resistencias estatóricas.
  - — Arranque mediante resistencias rotóricas.
  - — Arranque por autotransformador.
- Arranques realizados mediante dispositivos electrónicos.

Dada la importancia de los posibles métodos de arranque de los motores eléctricos, estos serán estudiados en detalle en la Unidad 8 del libro, describiendo las características, técnicas y automatismos necesarios para su ejecución.

SABÍAS QUE

Si se produce alguna variación en las condiciones nominales de funcionamiento de una máquina eléctrica, esta puede actuar autocompensándose, se dice entonces que la máquina es **estable**, o alejándose cada vez más del régimen de funcionamiento normal, en cuyo caso se tratará de una máquina **inestable**.

6.3. Motores de corriente alterna

Los motores de corriente alterna monofásica son muy utilizados en mecanismos, aplicaciones y procesos que requieren muy poca potencia para su funcionamiento. La constitución y características de estos motores es muy similar a la de los trifásicos de inducción, con la salvedad de que al no tener un triple campo rotatorio desfasado 120 grados, en su arranque el eje del motor no es capaz de girar por sí mismo simplemente con alimentar los devanados del estator.

Los motores monofásicos, en consecuencia, precisan de un mecanismo o dispositivo auxiliar para lograr producir un par en el eje que haga que este comience el movimiento giratorio. Los sistemas más empleados en este sentido, mediante los cuales se puede realizar la clasificación de estas máquinas eléctricas, son los siguientes:

- Motor de CA de inducción con bobina auxiliar de arranque, o de fase partida.
- Motor de CA de inducción de arranque por condensador.
- Motor de CA de inducción de arranque por espira de sombra.

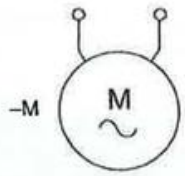


Figura 6.38. *Símbolo genérico del motor de CA monofásico. Los bornes pueden nombrarse como U-V o F-N.*

6.3.1. Motor de CA con bobina auxiliar de arranque

En el estator de la máquina se disponen dos devanados con un decalado de 90 grados. Al conectar el motor una corriente elevada atraviesa la bobina principal y una corriente de menor magnitud se deriva hacia la bobina auxiliar. De esta

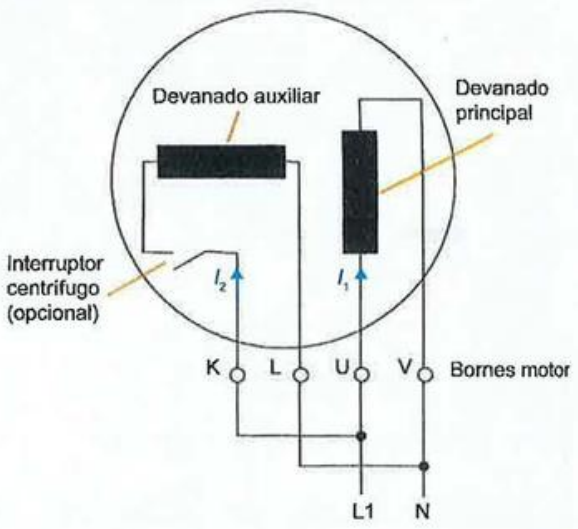


Figura 6.39. *Representación interna del motor de CA con bobina auxiliar de arranque.*

manera se generan dos campos magnéticos independientes desfasados entre sí, y será este desfase el responsable de generar un par suficiente que comience a mover el eje del motor, siempre que se encuentre conectado en vacío. También resulta posible conectar una resistencia u otra inductancia en serie con el devanado auxiliar para aumentar la impedancia y desfase entre las corrientes.

Una vez el motor se encuentra en funcionamiento, resulta posible mantener conectado el bobinado auxiliar, o desconectar el mismo mediante un interruptor centrífugo que actúa cuando la máquina ha alcanzado el 80 % de su velocidad nominal.

6.3.2. Motor de CA de arranque por condensador

Este es el sistema **más utilizado** en las instalaciones eléctricas que utilizan motores monofásicos. El principio de funcionamiento es similar al del arranque por bobina auxiliar, pero en este caso se conecta también un condensador fijo en el circuito auxiliar.

La diferencia de fase entre el condensador y la inductancia genera un campo magnético giratorio suficiente para mover el eje del motor, con la gran ventaja de que el **par de arranque es muy elevado.** Cuando la máquina ha alcanzado la velocidad suficiente es posible desconectar el circuito auxiliar mediante un interruptor centrífugo, aunque dependiendo de las características y uso del motor puede resultar necesario dejar el condensador conectado. En estos casos suele ser frecuente utilizar dos condensadores en paralelo para el arranque y desconectar uno de ellos durante el funcionamiento permanente del motor.

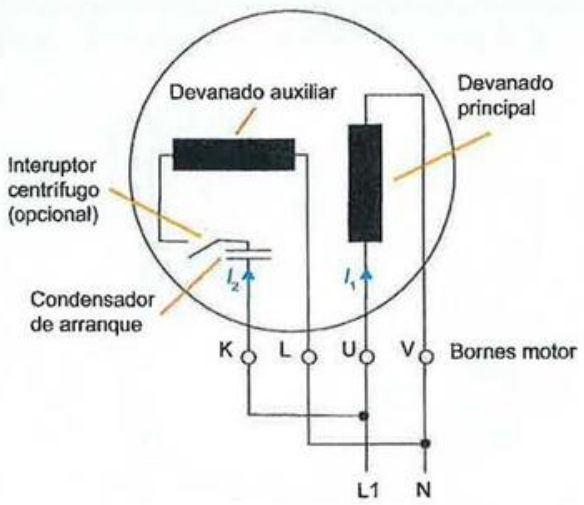


Figura 6.40. *Representación interna del motor de CA con condensador de arranque.*

SABÍAS QUE

La capacidad del condensador de arranque para un motor de 200 W debe ser aproximadamente de 8 µF.

6.3.3. Motor de CA de arranque por espira de sombra

Para generar el desfase de campo magnético necesario para el arranque, en estos motores se utiliza la denominada bobina o *espira de sombra*, similar a la utilizada en los contactores. La espira de sombra se ubica en una hendidura de los polos del estator y crea un flujo magnético auxiliar desfasado con respecto al principal que produce el movimiento giratorio del eje en el arranque.

Este sistema solo es aplicable en motores monofásicos de potencia no superior a 1 kW, dado su bajo rendimiento.

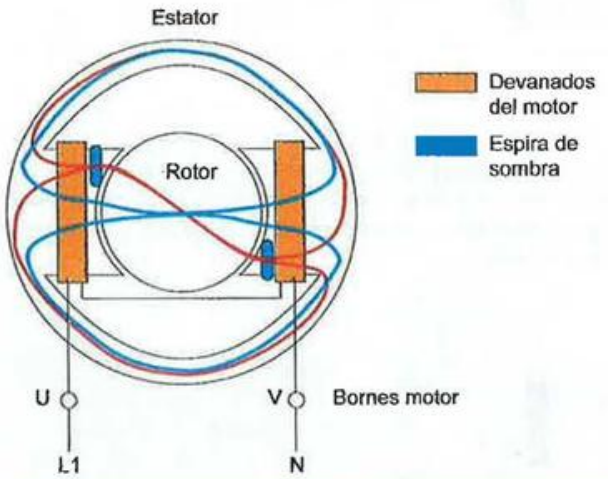


Figura 6.41. *Representación interna del motor de CA con espira de sombra.*

6.3.4. Motores universales

El motor monofásico universal es un tipo de motor eléctrico capaz de funcionar tanto en redes de corriente continua como de corriente alterna.

El uso de los motores universales para aplicaciones en corriente alterna está muy extendido por las múltiples ventajas que se obtienen con respecto a los motores de CA convencionales:

- Bajo coste.
- Elevado par de arranque.
- Elevada velocidad de rotación.
- Pequeño tamaño.

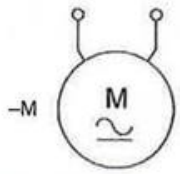


Figura 6.42. *Símbolo del motor universal.*

Figura 6.43. *Motor universal.*

Estos motores son los más utilizados en máquinas y herramientas portátiles y pequeños electrodomésticos. Pueden funcionar para una o dos tensiones y disponer de varias velocidades, conmutando las espiras del devanado principal del estator.

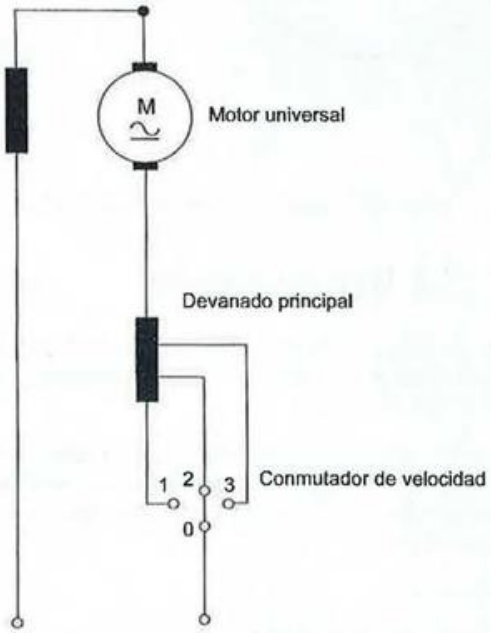


Figura 6.44. *Representación gráfica de un motor universal de varias velocidades.*

6.4. Motores de corriente continua

Los motores de corriente continua son ideales para su uso en máquinas y mecanismos de baja potencia y tensión. Presentan un fácil control y flexibilidad tanto de la velocidad como del par, y tienen una elevada capacidad de sobrecarga, por lo que hasta la aparición de la electrónica de potencia, eran los más utilizados en aplicaciones que requerían un amplio margen de velocidades.

Además, son muy fáciles de miniaturizar, por lo que uno de sus usos más generalizados se encuentra actualmente en la robótica.

Figura 6.45. *Motores de CC de baja potencia.*

La velocidad nominal de este tipo de motores **no depende de la frecuencia**, al contrario de lo que ocurre con los motores de corriente alterna, por lo que su principal ventaja radica en que permiten un control óptimo de la velocidad y un ajuste muy preciso del par. El par de arranque es, además, muy elevado.

Sin embargo, este tipo de motores son mucho menos robustos que los de corriente alterna, sus componentes son más caros y el mantenimiento es mucho más complejo y costoso.

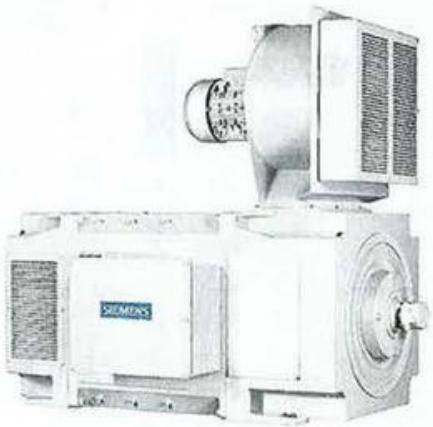


Figura 6.46. *Motor de corriente continua de alta potencia. (Cortesía de Siemens.)*

RECUERDA

Si un motor de corriente continua funciona como generador, se le conoce como **dinamo**.

6.4.1. Constitución del motor de corriente continua

Un motor de corriente continua está formado básicamente por los mismos componentes que un motor de corriente alterna de rotor bobinado, salvo por algunas particularidades:

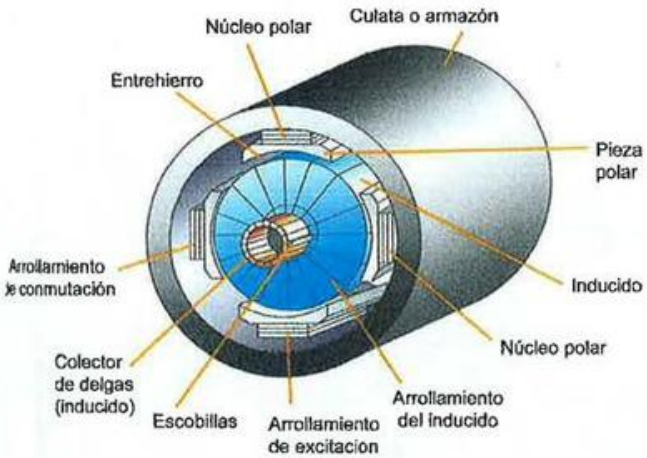


Figura 6.47. *Constitución del motor de CC.*

Estátor o inductor: al igual que en los motores de CA, el estátor es la parte fija del circuito magnético, cuyas bobinas son las encargadas de generar el campo magnético. No obstante, es frecuente que las bobinas sean sustituidas por imanes permanentes en motores de CC de baja potencia.

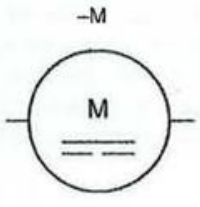


Figura 6.48. *Símbolo general del motor de CC.*

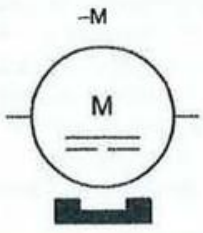


Figura 6.49. *Símbolo del motor de CC de imán permanente.*

Este tipo de motores pueden disponer, además, de un bobinado inductor auxiliar, formado por las bobinas colocadas en los **polos de conmutación**, cuya función es la de mejorar las condiciones de funcionamiento y solucionar los problemas debidos a la reacción del inducido. Los devanados de compensación suelen utilizarse en motores de CC de grandes dimensiones y alta velocidad.

Rotor o armadura: se trata de un cilindro móvil metálico, compuesto por chapas magnéticas aisladas entre sí y situadas de manera perpendicular al eje de rotación.

Colector de delgas: es el elemento encargado de hacer la conexión eléctrica a través del ensamblaje rotativo, permitiendo la transferencia de la energía en corriente continua.

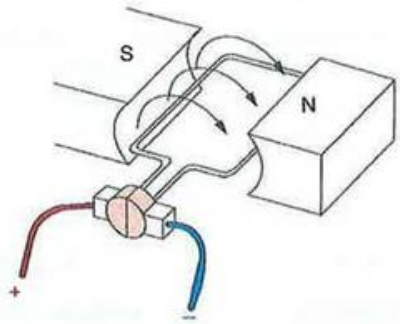


Figura 6.50. *Representación del colector de delgas.*

Actividad propuesta 6.4

¿Recuerdas lo que era un colector de anillos? ¿A qué tipo de máquinas eléctricas lo asociarías?

Enumera las semejanzas y las diferencias existentes entre los colectores de delgas y los colectores de anillos presentes en los motores trifásicos.

Escobillas: son componentes inmóviles que, situados frente al colector, establecen la conexión eléctrica entre la parte fija y la parte rotatoria del motor, haciendo presión sobre las delgas. El número total de escobillas de un motor de corriente continua ha de ser igual a su número de polos.

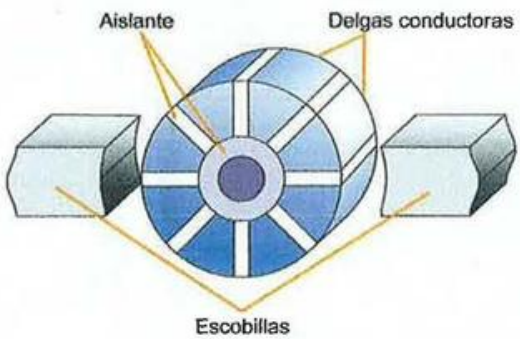


Figura 6.51. *Detalle de la unión entre el colector de delgas y las escobillas.*

El hecho de que este tipo de motores dispongan de escobillas implica, como ya se ha comentado, un mantenimiento mucho más complejo y costoso debido al desgaste mecánico al que se ven sometidos estos elementos, al contrario de lo que ocurre, por ejemplo, en los motores trifásicos asíncronos de rotor en cortocircuito.

6.4.2. Tipos de motores de corriente continua

Se distinguen cuatro tipos de motores de corriente continua, además del motor con imanes permanentes, caracterizados según la excitación del bobinado inductor con respecto al inducido.

Tabla 6.3. Tipos de motores de CC.

Serie	*Shunt* o derivación
Independiente	*Compound* o compuesto

Motor de CC de excitación en serie

Los devanados del inductor son recorridos por la misma corriente generada por el inducido y absorbida por la carga. Las bobinas estarán compuestas por pocas espiras y de una sección elevada, con el objetivo de disminuir la caída de tensión lo máximo posible.

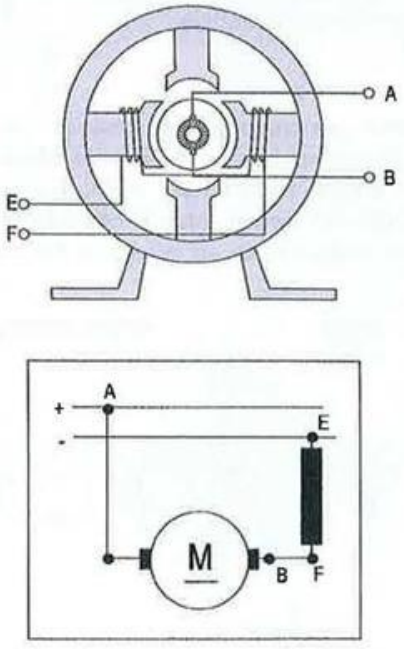


Figura 6.52. *Motor de CC de excitación serie.*

SABÍAS QUE

Los motores universales de corriente alterna monofásica son muy similares en cuanto a su forma constructiva a los motores de excitación serie de corriente continua.

Motor de CC de excitación independiente

Los devanados del inductor son recorridos por la corriente suministrada por una fuente de **alimentación externa**. La sección y el número de espiras de los devanados dependerán de la fuente de alimentación.

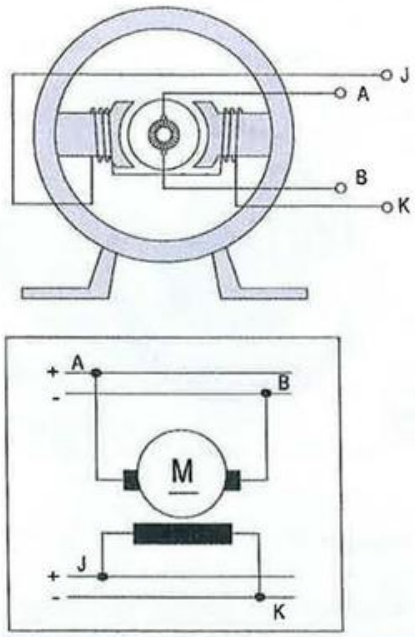


Figura 6.53. *Motor de CC de excitación independiente.*

La corriente de excitación puede ser regulada por un reostato o por la propia fuente de alimentación, lo que hace que los motores de corriente continua de excitación independiente sean todavía muy utilizados para aplicaciones que requieren una velocidad variable. No obstante, cada vez es más común el uso de motores de corriente alterna asíncronos equipados con convertidor de frecuencias para este tipo de aplicaciones.

Motor de CC de excitación en derivación o *shunt*

El circuito inductor está conectado en **paralelo** (derivación) con el circuito inducido y con la carga, quedando la intensidad total repartida entre ellos. Las bobinas están formadas por un número muy elevado de espiras de pequeña sección.

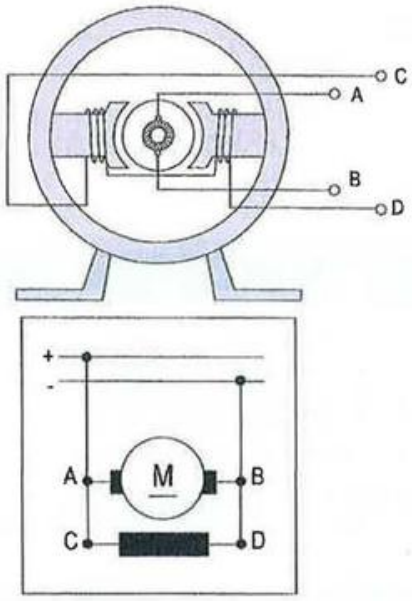


Figura 6.54. *Motor de CC de excitación* shunt.

Motor de CC de excitación compuesta o *compound*

Poseen **dos circuitos diferentes,** uno conectado en serie y otro conectado en derivación (paralelo). Cada uno de los devanados debe tener las características propias del tipo de conexión.

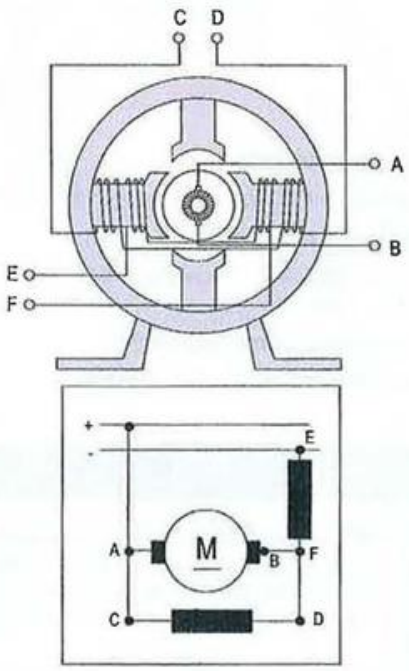


Figura 6.55. *Motor de CC de excitación* compound.

6.4.3. Caja de bornes del motor de CC

La configuración de las cajas de bornes de los motores de corriente continua dependerá del tipo de excitación, quedando definidas por el marcado alfabético de las conexiones indicado anteriormente. La mayoría de estos motores disponen de 4 bornes de conexión, excepto el motor de excitación compuesta que dispone de 6.

Existe también la posibilidad de encontrar otros dos bornes adicionales, marcados con las letras G y H, que se corresponden con los devanados de conmutación. La conexión de este elemento se realiza en serie opuesta con el inducido.

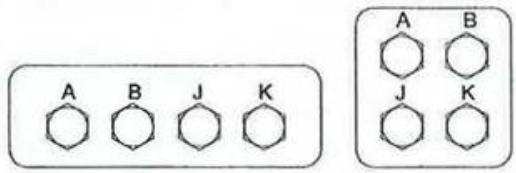


Figura 6.56. *Placas de bornes de un motor de CC de excitación independiente.*

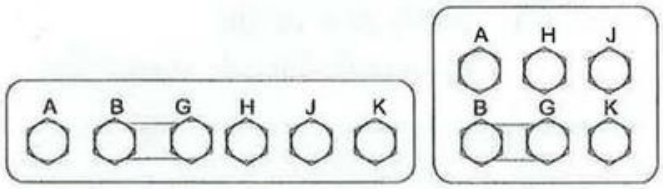


Figura 6.57. *Placas de bornes de un motor de CC de excitación independiente con polos de conmutación.*

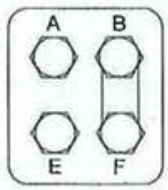


Figura 6.58. *Placa de bornes de un motor de CC de excitación serie.*

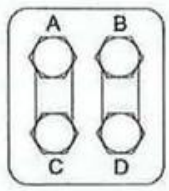


Figura 6.59. *Placa de bornes de un motor de CC de excitación* shunt.

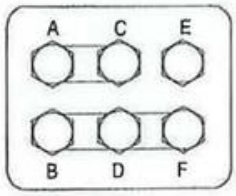


Figura 6.60. *Placa de bornes de un motor de CC de excitación* compound.

6.5. Dimensionado de instalaciones eléctricas con motores

La gran mayoría de las instalaciones eléctricas de automatismos industriales tienen como finalidad suministrar energía y poder gestionar el control de máquinas rotativas. Asimismo, existen muchas otras instalaciones en las que los motores eléctricos juegan un papel fundamental, ya que, por ejemplo, cualquier edificio actual dispone de ascensores, montacargas, grupos de bombeo, grupos de presión, puertas eléctricas y otros receptores eléctricos que basan su funcionamiento en un motor. Incluso en las instalaciones domésticas estos dispositivos se encuentran presentes, ya sea una lavadora, una nevera, el aire acondicionado, etc.

Dado que los motores eléctricos son posiblemente los receptores más comunes, o como mínimo los más importantes de las instalaciones eléctricas, especialmente en el caso de los automatismos industriales, resulta fundamental conocer los criterios de diseño y dimensionado necesarios para la instalación de los mismos, teniendo siempre en cuenta las disposiciones legales vigentes en el sector.

6.5.1. Cálculo de la sección de los conductores de alimentación

El método para calcular la sección del conductor de alimentación de un determinado circuito eléctrico se basa en dos criterios: que el conductor sea capaz de soportar la intensidad máxima que circulará por el circuito, y que la caída de tensión no sea superior a un determinado valor marcado por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, asegurando de esta manera que todos los receptores reciben un nivel de tensión mínima que les permita permanecer en estado normal de funcionamiento.

Por tanto, el cálculo genérico de la sección de un conductor se realiza mediante las siguientes ecuaciones:

- **Cálculo de la intensidad nominal:** la intensidad nominal de un circuito depende de la potencia de los receptores conectados, de su factor de potencia y de la tensión de alimentación, tal como se muestra en las siguientes fórmulas de aplicación:

  Para circuitos trifásicos:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi}$$

  Para circuitos monofásicos:

$$I = \frac{P}{U \times \cos \varphi}$$

Donde:

I = intensidad nominal (A)
P = potencia (W)
U = tensión de alimentación (V)
$\cos \varphi$ = factor de potencia

RECUERDA

Es imprescindible verificar que la intensidad nominal de un determinado circuito sea inferior a la intensidad máxima admisible del conductor de alimentación (para evitar sobrecalentamientos) e inferior también al calibre del dispositivo de protección (para evitar disparos por exceso de potencia).

$I_{\text{NOMINAL DEL CIRCUITO}} < I_{\text{DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN}} < I_{\text{MÁXIMA ADMISIBLE DEL CONDUCTOR}}$

- **Cálculo de la caída de tensión:** se calculará considerando alimentados todos los aparatos de utilización susceptibles de funcionar simultáneamente. Las fórmulas aplicables para obtener dicho parámetro son las siguientes:

  Para circuitos trifásicos:

$$e = \frac{P \times L}{\gamma \times U \times S}$$

  Para circuitos monofásicos:

$$e = \frac{2 \times P \times L}{\gamma \times U \times S}$$

  Donde:

  e = caída de tensión (V)
  P = potencia (W)
  L = longitud del circuito (m)
  γ = conductividad del conductor ($m/\Omega \times mm^2$) (Cu = 56, Al = 35)
  U = tensión de alimentación (V)
  S = sección del conductor (mm^2)

RECUERDA

Es imprescindible verificar que la caída de tensión obtenida en cada uno de los circuitos no supera los límites establecidos. El resultado final del cálculo puede expresarse en *valor de tensión (V)* o en *valor porcentual (%)* con respecto a la tensión de alimentación.

En los **circuitos de maniobra**, la sección utilizada será generalmente de **1,5 mm²**, ya que las cargas que alimentan presentan un consumo muy bajo.

Para la alimentación de **motores**, nunca deben utilizarse secciones de cableado inferiores a 2,5 mm², ya que dichos equipos están diseñados en muchos casos para trabajar en sobrecarga y, como ya se ha detallado, presentan unas sobreintensidades en el arranque que deben ser tenidas en cuenta. Es por este motivo, que el REBT 2002, en la ITC-BT-47, establece los criterios técnicos a tener en cuenta para la instalación y dimensionado de los motores eléctricos, los cuales se especifican a continuación:

Circuitos con un único motor

Los conductores de conexión que alimentan a un solo motor deben estar dimensionados para una intensidad del 125 % de la intensidad a plena carga del motor. En los motores de rotor devanado, los conductores que conectan el rotor con el dispositivo de arranque (conductores secundarios) deberán también estar dimensionados para el 125 % de la intensidad a plena carga del rotor.

Por tanto, la sección del conductor de alimentación de un motor trifásico puede obtenerse a partir de la siguiente fórmula:

$$S_{MOTOR} = \frac{1{,}25 \times L \times P}{U \times e \times \gamma}$$

Y en el caso de motores monofásicos:

$$S_{MOTOR} = \frac{1{,}25 \times 2 \times L \times P}{U \times e \times \gamma}$$

Donde:

S = sección del conductor (mm²)

L = longitud del conductor (m)

P = potencia absorbida por el motor (W)

U = tensión nominal de alimentación (V)

e = caída de tensión máxima (V)

γ = conductividad del material conductor (mm²/Ω × m)

La **caída de tensión máxima** entre el origen de la instalación interior y cualquier punto de utilización debe ser **menor del 5 %** de la tensión nominal de alimentación para los circuitos de fuerza, pudiendo compensarse este valor con el de las derivaciones individuales.

Para instalaciones industriales que se alimenten directamente en alta tensión mediante un transformador de distribución propio, la caída de tensión máxima admisible para los circuitos de fuerza será del **6,5 %**.

SABÍAS QUE

Si el motor es para servicio intermitente, los conductores secundarios pueden ser de menor sección según el tiempo de funcionamiento continuado, pero en ningún caso tendrán una sección inferior a la que corresponde al 85 % de la intensidad a plena carga en el rotor.

Circuitos con varios motores

Los conductores de conexión que alimentan a varios motores deben estar dimensionados para una intensidad no inferior a la suma del 125 % de la intensidad a plena carga del motor de mayor potencia, más la intensidad a plena carga de todos los demás.

Es decir, la sección del cableado que alimenta independientemente a cada motor se obtendrá a partir de las fórmulas anteriores, pero la sección del cableado común a todos los motores deberá hallarse a partir del siguiente valor de potencia:

$$P_{TOTAL} = 1{,}25 \times P_{MOTOR\ MAYOR} + P_{RESTO\ DE\ MOTORES}$$

Carga combinada

Los conductores de conexión que alimentan simultáneamente a motores y otros receptores deben estar previstos para la intensidad total requerida por los receptores, más la requerida por los motores, calculada tal como se ha indicado anteriormente.

Motores de elevación y transporte

En los motores de ascensores, grúas y aparatos de elevación en general, tanto de corriente continua como de corriente alterna, se computará como intensidad normal a plena carga la necesaria para elevar las cargas fijadas como normales a la velocidad de régimen una vez pasado el período de arranque, **multiplicada por el coeficiente 1,3.**

Para este tipo de máquinas eléctricas deben tenerse también en cuenta las prescripciones de la ITC-BT-32 del REBT, donde se indica que las canalizaciones que vayan desde el dispositivo general de protección al equipo de elevación o de accionamiento deberán estar dimensionadas de manera que el arranque del motor no provoque una caída de tensión superior al **5 %**.

Por tanto, la sección del conductor de alimentación del motor trifásico de un aparato de elevación puede obtenerse a partir de la siguiente fórmula:

$$S_{MOTOR\ ELEVACIÓN} = \frac{1{,}3 \times L \times P}{U \times e \times \gamma}$$

Y en el caso de motores monofásicos:

$$S_{MOTOR} = \frac{1{,}3 \times 2 \times L \times P}{U \times e \times \gamma}$$

Donde:

S = sección del conductor (mm^2)

L = longitud del conductor (m)

P = potencia absorbida por el motor (W)

U =tensión nominal de alimentación (V)

e = caída de tensión máxima (V). Corresponde al 5 % de la tensión de alimentación.

γ = conductividad del material conductor ($mm^2/\Omega \times m$)

RECUERDA

Antes de considerar la sección calculada como definitiva, debe verificarse que la caída de tensión es conforme a la reglamentación vigente, tanto en el régimen normal como en el transitorio (arranque de motores), y que las protecciones contra los choques eléctricos están aseguradas.

Al contrario de lo que ocurría en los circuitos con varios motores convencionales, cuando **varios motores de elevación** se conectan a través de los mismos conductores de alimentación, el cálculo de la potencia total no se realiza diferenciando al motor de mayor potencia, si no que se hallará multiplicando el factor **1,3 por la suma de la potencia** de todos los motores.

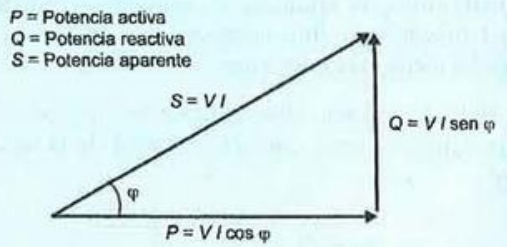
6.5.2. Compensación del factor de potencia

La mayoría de las máquinas eléctricas de corriente alterna, incluidos los motores, requieren para su funcionamiento de dos tipos de energía: la energía activa, la cual convierten en trabajo útil, y la energía reactiva, necesaria para la creación de los campos magnéticos. Por tanto, todas las instalaciones eléctricas en las que existan dispositivos electromagnéticos, o devanados acoplados magnéticamente, precisan de corriente reactiva para generar y mantener los campos magnéticos.

RECUERDA

La potencia activa (P) se expresa generalmente en W o kW, la potencia reactiva (Q) en VAr o kVAr y la potencia nominal o aparente (S) en VA o kVA.

La relación entre estos tres tipos de potencia forma lo que se denomina el **triángulo de potencias.**



Los equipos eléctricos de las instalaciones industriales que más energía reactiva requieren para su funcionamiento son los transformadores, los motores y las lámparas de descarga. Concretamente, los motores **asíncronos** pueden llegar a demandar hasta un 75 % de potencia reactiva con

Actividad propuesta 6.5

Determina la caída de tensión real (en valor porcentual) asociada a las líneas de alimentación de dos motores trifásicos, suponiendo que sus características técnicas son las siguientes:

Denominación	Potencia del motor	Tensión	Longitud	Conductores
Línea motor 1	50 kW	400/230 V	18 metros	4 × 70 mm^2 + TT × 50 mm^2 (Al)
Línea motor 2	50 CV	400/230 V	7 metros	4 × 35 mm^2 + TT × 50 mm^2 (Cu)

a) ¿Se encuentran las caídas de tensión calculadas dentro de los límites establecidos por el Reglamento de Baja Tensión para instalaciones industriales?

b) ¿Consideras que la instalación de estos dos motores se encuentra bien dimensionada? ¿Por qué?

Nota: los motores **no** son de elevación. La conductividad del cobre tómala como 56 $mm^2/\Omega \times m$ y la del aluminio como 35 $mm^2/\Omega \times m$.

respecto a su potencia activa nominal, lo que hace que su factor de potencia (cos φ) sea muy bajo. Los valores del factor de potencia medios para las cargas más comunes en las instalaciones de automatismos industriales son los que se muestran a continuación:

Tabla 6.4. Factores de potencia (cos φ) de los equipos eléctricos más comunes en instalaciones industriales.

Motor asíncrono al 0 % de carga	0,17
Motor asíncrono al 50 % de carga	0,73
Motor asíncrono al 100 % de carga	0,85
Centros estáticos monofásicos de soldadura por arco	0,5
Grupos rotativos de soldadura	0,7 - 0,9
Rectificadores de soldadura por arco	0,7 - 0,8
Máquinas de soldar de tipo resistencia	0,8 - 0,9
Lámparas incandescentes	1,0
Lámparas de fluorescencia	0,5
Lámparas de descarga	0,4 - 0,6
Hornos de resistencia	1,0
Hornos de calefacción dieléctrica	0,85
Hornos de arco	0,8
Hornos de inducción	0,85

La compensación de la energía reactiva (mejora del factor de potencia) en una instalación eléctrica conlleva numerosas ventajas técnicas y económicas como:

- Reducción de los costes económicos en electricidad.
- Reducción de las pérdidas (efecto Joule) en cables.
- Reducción de las caídas de tensión.
- Aumento de la potencia total disponible.

Figura 6.61. *Cuadro eléctrico industrial destinado a la compensación del factor de potencia.*

En las instalaciones de baja tensión, la mejora del factor de potencia se consigue mediante la instalación de condensadores o baterías de condensadores. Las baterías de condensadores pueden ser de dos tipos, **fijas o automáticas**, y su conexión al sistema se realiza mediante interruptor de corte en carga o interruptor automático, a través de automatismos basados en contactores o directamente en bornes del receptor a compensar.

Actividad propuesta 6.6

Identifica cada uno de los componentes que aparecen en la Figura 6.61, explicando brevemente su función.

Cabe destacar que la ITC-BT-43 del REBT especifica que se podrá realizar la compensación fija para uno o varios receptores siempre que funcionen simultáneamente y que para compensar la totalidad de la instalación se deberá instalar un equipo automático.

En cualquier caso, la compensación de la energía reactiva debe garantizar que en ningún momento la energía absorbida por la red sea capacitiva.

En las instalaciones industriales, generalmente se realiza la compensación fija en los motores de gran potencia y se utiliza una batería de condensadores automática para la compensación global en la cabecera de la instalación.

6.5.3. Instalación de condensadores y baterías de condensadores

Al dimensionar el montaje e instalación de una determinada batería de condensadores, debe tenerse en cuenta que los efectos positivos derivados solo tienen efecto aguas arriba de su ubicación.

Para escoger entre el sistema de compensación fijo o automático, la norma de aplicación más habitual especifica que para demandas de energía reactiva inferiores al 15 % de la potencia nominal de la instalación, es recomendable la utilización de condensadores fijos. Para demandas superiores al 15 % es recomendable, por tanto, la instalación de baterías de condensadores automáticas.

Respecto a la ubicación de los dispositivos de compensación dentro de la instalación eléctrica, se diferencian tres posibilidades:

- Compensación global.
- Compensación por grupos o parcial.
- Compensación individual.

Compensación global

La batería de condensadores debe ser obligatoriamente automática, y se instala en el embarrado del cuadro general de distribución de baja tensión, en paralelo con el resto de la instalación eléctrica. Este es el sistema de compensación más económico y efectivo, pero presenta una desventaja: desde el cuadro general hasta los receptores la corriente reactiva está totalmente presente en las líneas y las pérdidas por efecto Joule en las líneas no se reducen.

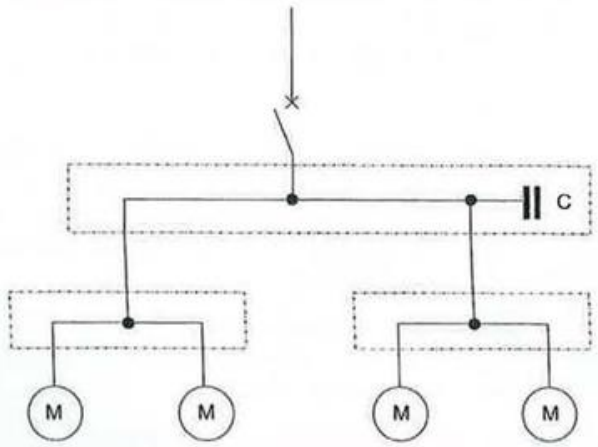


Figura 6.62. *Ejemplo de compensación global.*

Compensación por grupos

Las baterías de condensadores se instalan en el embarrado de cada uno de los cuadros de distribución que necesitan compensación. Este método encarece la instalación, pero reduce la intensidad y las pérdidas por efecto Joule en los cables de alimentación del CGBT y optimiza una gran parte de la instalación.

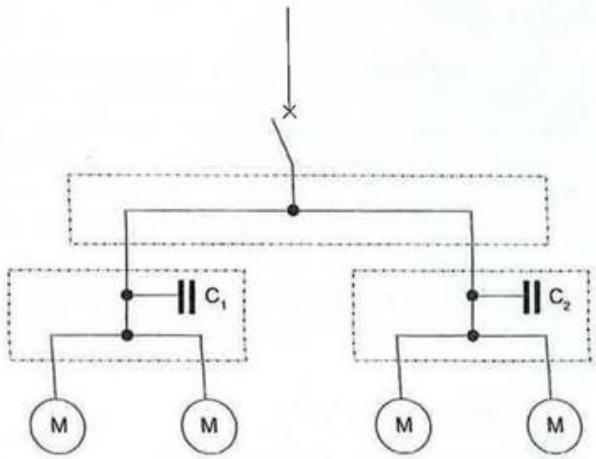


Figura 6.63. *Ejemplo de compensación por grupos.*

Es recomendable utilizar la compensación por grupos cuando la instalación es grande o cuando los patrones de uso de las máquinas eléctricas son muy distintos. En este sentido, hay que prestar especial atención en el dimensionamiento para evitar que puedan producirse sobrecompensaciones si hay grandes variaciones de carga.

Compensación individual

En el método individual los condensadores se conectan directamente en bornes de los receptores que se desean compensar.

Mediante este sistema se elimina completamente la energía reactiva demandada por el equipo compensado y se reduce la intensidad y las pérdidas por efecto Joule en los cables de alimentación hasta el receptor.

Si todos los equipos dispusiesen de compensación individual se optimizaría por completo la instalación eléctrica, pero resultaría un método muy costoso. Es recomendable, por tanto, utilizar la compensación individual cuando la potencia nominal del equipo a compensar (generalmente un motor asíncrono) es relativamente grande en comparación con la potencia total de la instalación.

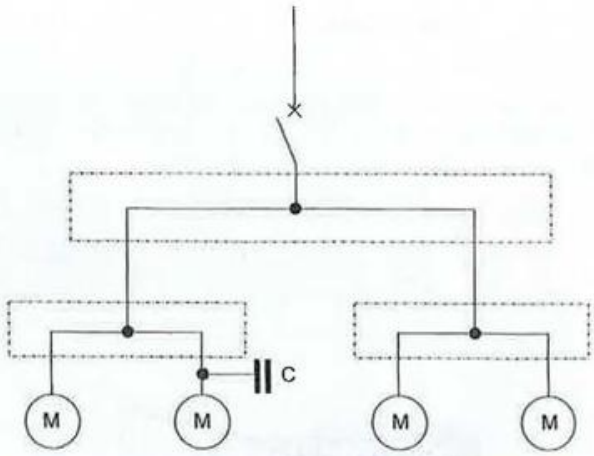


Figura 6.64. *Ejemplo de compensación individual de un único motor.*

Cabe destacar que no es recomendable compensar de forma individual los motores que dispongan de arrancadores escalonados, inversión de giro, varias velocidades y otros motores de características especiales.

RECUERDA

Existe también la posibilidad de encontrar condensadores conectados en bornes de motores de corriente alterna monofásica, cuyo objetivo no es el de compensar la potencia reactiva, sino facilitar el arranque de los mismos.

Al realizar la compensación individual en bornes de un motor, debe tenerse en cuenta que la intensidad eficaz de la línea de alimentación se va a reducir considerablemente, por lo que resultará necesario realizar una nueva regulación de los dispositivos de protección.

El cálculo para obtener la energía reactiva capacitiva que resulta necesaria a la hora de efectuar la compensación de una determinada instalación, grupo o equipo eléctrico, se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$Q_c = P \times (\text{tg}\ \varphi_1 - \text{tg}\ \varphi_2)$$

Siendo:

- Q_c = potencia reactiva del condensador o de la batería (VAr)
- P = potencia activa del receptor a compensar (W)
- φ_1 = ángulo de desfase antes de la compensación
- φ_2 = ángulo de desfase deseado (después de la compensación)

RECUERDA

El factor de potencia es la relación entre la potencia activa (kW) y la potencia aparente (kVA). Cuanto más próximo esté el factor de potencia al valor de 1, mayor será el beneficio para la instalación eléctrica.

En la práctica, sin embargo, cuando se desea llevar a cabo la compensación individual de un único motor eléctrico, en lugar de realizar el cálculo matemático de la batería de condensadores necesaria en cada caso, lo más común es consultar las tablas proporcionadas por el fabricante del equipo de compensación, donde se ofrece una relación entre las características propias del motor y la potencia reactiva de compensación aconsejada que se debería instalar.

A continuación se muestra una tabla en la que se indican las potencias reactivas máximas recomendadas para la compensación fija de motores de diversa potencia y velocidad, así como el factor de reducción asociado para las protecciones de máxima intensidad después de la compensación:

Tabla 6.5. Baterías de condensadores y factores de reducción recomendados para motores de 22 a 450 kW. (Cortesía de Schneider Electric.)

Potencia nominal		kVAr que se deben instalar			
		Velocidad de rotación (rpm)			
kW	CV	3.000	1.500	1.000	750
22	30	6	8	9	10
30	40	7,5	10	11	12,5
37	50	9	11	12,5	16
45	60	11	13	14	17
55	75	13	17	18	21
75	100	17	22	25	28
90	125	20	25	27	30
110	150	24	29	33	37
132	180	31	36	38	43
160	218	35	41	44	52
200	274	43	47	53	61
250	340	52	57	63	71
280	380	57	63	70	79
355	482	67	76	86	98
400	544	78	82	97	106
450	610	87	93	107	117
Factor de reducción de las protecciones		0,93	0,91	0,90	0,88

Actividades de comprobación

6.1. ¿A cuántos kilovatios equivale un caballo de vapor?
- a) 0,746 kW.
- b) 1,01387 kW.
- c) 0,735 kW.

6.2. En el arranque directo de un motor trifásico con rotor de jaula de ardilla, cuyas características nominales de tensión son: 690 V /1.200 V, podremos conectarlo en estrella:
- a) A una red trifásica de 690 V de tensión de línea.
- b) A una red trifásica de 1.200 V de tensión de línea.
- c) A una red trifásica de 1.200 V o 690 V, según hagamos la conexión.

6.3. En el arranque directo de un motor trifásico con rotor de jaula de ardilla, cuyas características nominales de tensión son: 230 V/400 V, podremos conectarlo en estrella:
- a) A una red trifásica de 690 V, siempre que el motor sea de tipo síncrono.
- b) A una red trifásica de 230 V de tensión de fase.
- c) Ninguna opción es correcta.

6.4. ¿Cómo se denomina a una máquina rotativa de corriente alterna que funciona como generador?
- a) Dinamo.
- b) Alternador.
- c) Transformador.

6.5. En una máquina eléctrica rotativa, el rotor es considerado como:
- a) El inducido.
- b) El inductor.
- c) El entrehierro.

6.6. El término "colector de delgas" hace referencia a:
- a) Una máquina eléctrica rotativa de corriente continua.
- b) Una máquina eléctrica rotativa de corriente alterna.
- c) Una máquina eléctrica rotativa trifásica.

6.7. ¿Qué tipo de motores poseen un factor de potencia más elevado por defecto, es decir, siempre que no exista compensación?
- a) Motor de inducción.
- b) Motor síncrono.
- c) Motor asíncrono.

6.8. ¿Qué tipo de motor es capaz de alcanzar la denominada "velocidad de sincronismo"?
- a) Motor de inducción.
- b) Motor síncrono.
- c) Motor asíncrono.

6.9. ¿Cuál de los siguientes tipos de motores tiene en su caja de bornes 6 bornes de conexión?
- a) Motor asíncrono trifásico con rotor en cortocircuito (o jaula de ardilla) de conexión estrella-triángulo.
- b) Motor asíncrono trifásico de dos velocidades tipo Dahlander.
- c) Ambas opciones son correctas.

6.10. Mediante qué tipo de conexión en un motor trifásico es posible conseguir que a los devanados internos les llegue una tensión 1,73 veces menor que la tensión de línea de la red eléctrica:
- a) Conexión en estrella.
- b) Conexión en triángulo.
- c) Ninguna opción es correcta. Esta relación de tensiones no existe.

6.11. ¿Cuándo resulta más elevada la demanda de intensidad por parte de un motor eléctrico en arranque directo?
- a) Cuando alcanza la velocidad nominal.
- b) Cuando arranca.
- c) Cuando trabaja en sobrecarga.

6.12. ¿Cuál de los siguientes tipos de motores no puede ser considerado como de corriente alterna?
- a) Motor de arranque por condensador.
- b) Motor de arranque por conexión *compound*.
- c) Motor de arranque por espira de sombra.

6.13. Un motor de corriente continua en el que los devanados del inductor son recorridos por la misma corriente generada por el inducido y absorbida por la carga, y las bobinas están compuestas por pocas espiras y de una sección elevada, es de tipo:
- a) Excitación en serie.
- b) Excitación independiente.
- c) Excitación *shunt*.

ACTIVIDADES FINALES

6.14. ¿Qué otro nombre recibe el motor trifásico asíncrono con rotor en jaula de ardilla?

a) Motor de rotor bobinado.

b) Motor de rotor cortocircuitado.

c) Motor de rotor accesible.

6.15. ¿Resulta posible compensar el factor de potencia de un único motor?

a) No, la compensación debe realizarse de manera global desde el cuadro eléctrico general.

b) Sí, pero solo en motores síncronos.

c) Sí, mediante compensación individual.

Actividades de aplicación

6.1. ¿Qué sección de cableado utilizarías en un circuito de maniobra para el control de un automatismo industrial? ¿Podrías utilizar el mismo tipo de cable para alimentar a un motor perteneciente al circuito de fuerza? Razona tus respuestas.

6.2. ¿Cuál es la función de las bobinas estatóricas de un motor trifásico?

6.3. Enumera las ventajas e inconvenientes de los motores trifásicos con respecto a los motores de corriente alterna monofásicos.

6.4. Enumera las ventajas e inconvenientes de los motores de corriente alterna con respecto a los motores trifásicos.

6.5. Explica brevemente la diferencia fundamental en el principio de funcionamiento de un motor de corriente alterna monofásico y un motor de corriente alterna trifásico.

6.6. Explica la diferencia entre el condensador de arranque de un motor de corriente alterna monofásico y el condensador de compensación del factor de potencia.

6.7. Razona si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas, justificando en cada caso la respuesta:

a) Un motor eléctrico conectado en una red de 400 V consumirá más intensidad de corriente que el mismo motor conectado en una red de 230 V.

b) A mayor número de pares de polos, mayor será la velocidad de un motor trifásico.

c) Mediante la compensación global de energía reactiva no es posible reducir la sección de los conductores del interior de la instalación, ya que la intensidad aguas abajo de la conexión de la batería de condensadores no se ve afectada.

d) En los motores de corriente continua la velocidad de giro no depende de la frecuencia.

6.8. ¿Qué ocurriría si se conecta un motor trifásico de 50 Hz de frecuencia a una red de 60 Hz?

6.9. En un motor trifásico conectado en triángulo, ¿qué relación existe entre la intensidad que circula por la línea de alimentación y la que recorre cada bobina del motor?

6.10. En un motor trifásico conectado en estrella, ¿qué relación existe entre la intensidad que circula por la línea de alimentación y la que recorre cada bobina del motor?

6.11. ¿Cómo habrá que conectar un motor de 133/230 V a una red de 230 V de tensión de línea, en estrella o en triángulo? Razona tu respuesta.

6.12. ¿De qué tensiones tendrá que ser un motor para poder ser arrancado en Y-Δ en una red de 400 V de tensión de línea? Razona tu respuesta.

6.13. ¿Qué número de pares de polos debe poseer el devanado estatórico de un motor asíncrono trifásico de inducción para conseguir una velocidad síncrona de 750 rpm a 50 Hz?

6.14. ¿Cuál será el deslizamiento de un motor asíncrono trifásico de rotor en cortocircuito de dos pares de polos a 50 Hz y a plena carga si se mide con un tacómetro una velocidad de 1.455 rpm?

6.15. Cita cuatro datos de los que aparecen en la placa de características de un motor trifásico.

6.16. ¿Cuál será la velocidad de sincronismo (en rpm) de un motor trifásico de 6 polos?

6.17. Cita los cuatro tipos más importantes de motores de corriente continua, según su tipo de excitación.

Casos prácticos

6.1. Explica de manera detallada en qué consisten la conexión en estrella y en triángulo de un motor trifásico. Realiza un esquema de ambas conexiones. A continuación, lleva el esquema y las conexiones a la práctica con el motor correspondiente de tu aula de trabajo.

6.2. A continuación se muestran las placas de características correspondientes a dos motores trifásicos. Analiza los datos expuestos en las mismas y responde a las siguientes preguntas.

SIEMENS IE3

Made in Czech Repuplic — CC 032A

3~Mot. 1LE10231DA222AA4 | UD 1203/1420830 001

IEC/EN 60034 160M IM B3 IP 55

75 kg | Th.Cl. 155(F) | -20°C<=TAMB<=40°C

Bearing
DE 6209-2ZC3
NE 6209-2ZC3

60Hz: SF 1.15 CONT NEMA MG1 12-12 TEFC Design A 15.0 HP

V	Hz	A	kW	PF	NOM.EFF	rpm	IE-CL	CL
230 Δ	50	35.0	11.0	0.87	91.2	2955	IE3	K
400 Y	50	20.0	11.0	0.87	91.2	2955	IE3	K
460 Y	60	19.5	12.6	0.89	91.0	3555	IE3	K
460 Y	60	17.2	11.0	0.88	91.0	3560	MG1	L

Placa de características del motor A

SIEMENS

3~ Mot. 1LH1 203-3AB71-2AB0-Z SIMOTICS FD NoN- xx9900060500001/2013

m: 2.0 t IP 55 IM B3 Ta: -20...+40°C Th.Cl.: 180(H) Util.:130(B)

nmax: 1800 1/min IEC/EN 60034-1

U [V]	I [A]	P [kW]	cosφ	n [1/min]	f [Hz]	Eff. Class	Eff.
480 D	790	465	0.88	1487	50	IE3	96.3%

Mot. design: FOR DIRECT ON-LINE OPERATION ONLY

Line supply: 400V / 50Hz

MAX. WASSERDRUCK / WATER PRESSURE 5 BAR

KÜHLW./COOL.WATER 40 L/MIN, 35°C

Made in Germany D-90441 Nürnberg

Placa de características del motor B

a) Define con qué tipo de motor se puede corresponder cada una de las placas de características.

b) ¿Cuál de los dos motores demanda mayor potencia eléctrica?

c) ¿Qué motor puede alcanzar mayor velocidad?

d) ¿Qué motor tiene un mayor rendimiento?

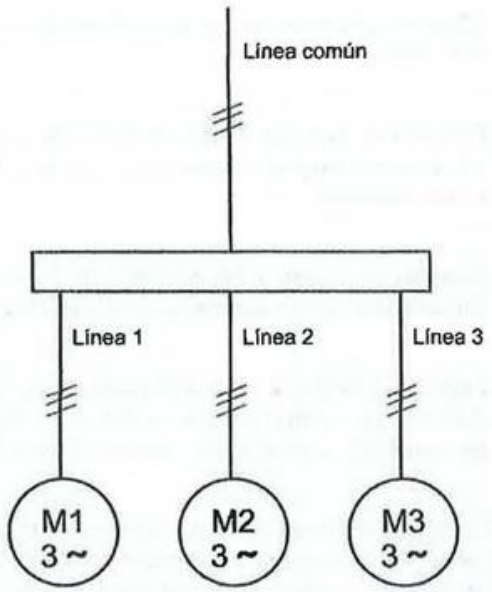
e) ¿A qué niveles de tensión puede ser conectado cada motor?

f) ¿Cuál de los dos motores necesitará cableado de alimentación de mayor sección?

g) ¿Qué motor posee un factor de potencia más desfavorable?

Razona y justifica todas las respuestas.

6.3. A continuación se representa el esquema unifilar simplificado de una instalación eléctrica que consta de tres circuitos independientes para motores.



Motor 1

- $P = 15$ kW
- Cos $\varphi = 0{,}82$

Motor 2

- $P = 22$ CV
- Cos $\varphi = 0{,}79$

Motor 3

- $P = 19$ HP
- Cos $\varphi = 0{,}84$

Línea 1 = 16 metros

Línea 2 = 4 metros

Línea 3 = 7 metros

Línea común = 12 metros

Sabiendo que los motores no son destinados a aparatos de elevación, y que están conectados a una tensión de línea de 400 V, responde a las siguientes cuestiones:

a) Realiza el cálculo de previsión de potencia para cada una de las tres líneas que alimentan a los motores.

b) Calcula la intensidad demandada por cada motor.

c) Realiza el cálculo de previsión de potencia para la línea común.

d) Calcula la sección teórica mínima de cada una de las tres líneas que alimentan a los motores, suponiendo los conductores de cobre.

e) Calcula la sección teórica mínima para la línea común.

6.4. Se dispone de un motor trifásico con la siguiente placa de características:

$P_{eje} = 45.000$ W	$I_a/I_n = 2,5$
$\eta = 85$ %	$n = 1.500$ rpm
$U = 400/230$ V	cos $\varphi = 0,75$ Inductivo

Se desea conectar el motor a una red trifásica de 400 V de tensión de línea. Responde a las siguientes cuestiones:

a) Razona cómo se debería conectar el motor (estrella o triángulo) y dibuja un esquema de la placa de conexiones.

b) ¿Qué potencia demanda el motor de la red (P_{ABS})? Determina las potencias reactiva y aparente asociadas.

c) ¿Qué potencia llega al eje del motor?

d) Determina la intensidad que circula por cada línea del sistema que alimenta al motor (I_L), y la intensidad de arranque del mismo (I_a).

e) Calcula el par que puede ofrecer el eje del motor.

f) Se desea aumentar el factor de potencia. Razona de qué forma puede realizarse esta acción **sin** utilizar baterías de condensadores.

6.5. Completa la siguiente tabla:

Tensión motor	Tensión de línea	Conexión	Tensión bobina
133/230	133		
230	133		
400/690		Estrella	
230/400			400
400	400		
690/1.200		Estrella	
		Triángulo	230
400/690		Triángulo	
133/400	400		
		Estrella	230
230/400			230
690/1.200	690		

Anexo técnico - Marcado de motores

Todos los motores eléctricos, al igual que la mayoría de los componentes, equipos y dispositivos pertenecientes a las instalaciones de automatismos industriales, constan de uno o varios símbolos geométricos y alfanuméricos que certifican o informan de sus características de uso y requisitos de fabricación. A continuación se exponen y definen los más importantes:

Marcado Europeo CE

El marcado CE es un requisito indispensable para comercializar un producto en cualquier país de la Unión Europea. Con este código el fabricante o el importador se responsabiliza de garantizar que el producto fabricado cumple los requisitos exigidos por las Directivas Comunitarias de aplicación, y el consumidor tiene constancia de que ha superado los controles de calidad. Junto a las letras *CE* también debe constar un número, correspondiente al organismo que otorga el certificado del producto. Si un motor no posee este marcado y la información asociada, queda prohibido su uso.

Figura 6.65. *Interpretación del marcado CE.*

Otras certificaciones de calidad

Existen otros tipos de certificados que garantizan la calidad de los materiales y el cumplimiento de los requisitos exigidos, pero en un ámbito nacional. Algunos ejemplos de distintivos que se pueden encontrar en los motores eléctricos son los siguientes:

Marcado ATEX

El marcado ATEX, aplicable en todos los países miembros de la Unión Europea, describe qué tipo de componente o equipamiento puede ser utilizado en ambientes o atmósferas potencialmente explosivas, así como las características que debe tener dicho ambiente. Se basa en los requerimientos especificados en la Directiva 94/9/EC.

Figura 6.66. *Interpretación del marcado ATEX.*

Grado de protección IP

El sistema de codificación IP establece el nivel de protección que ofrece la envolvente del motor frente al acceso a las partes peligrosas, contra la penetración de cuerpos sólidos extraños, contra la penetración de agua y para suministrar una información adicional unida a la referida protección. La codificación del valor IP y su significado es idéntica a la estudiada para cuadros y armarios eléctricos.

Clase de motor según la clasificación NEMA

Dada la gran variedad de motores de **inducción de jaula de ardilla** presentes actualmente en el mercado, la *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA) ha creado un código identificativo basado en cinco letras **(A, B, C, D o F)** que permite conocer las propiedades constructivas y de funcionamiento eléctrico y mecánico del rotor en estos motores. Dichas propiedades quedan reflejadas en la siguiente tabla:

Tabla 6.6. Características de los motores de inducción de jaula de ardilla en función de su clase.

Clase de motor	Par de arranque (M_a / M_n)	Intensidad de arranque (I_a / I_n)	Regulación de velocidad (%)	Características del motor
A	1,5 - 1,75	5 - 8	2 - 4	De jaula sencilla y baja resistencia
B	1,4 - 1,6	4,5 - 6	3,5	De propósito general
C	2 - 2,5	3,5 - 5	4 - 5	De doble jaula y alto par
D	2,5 - 3	3 - 8	5 - 13	De jaula sencilla, alto par y alta resistencia
F	1,25	2 - 4	> 5	De doble jaula, bajo par y baja intensidad de arranque

Automatización industrial mediante lógica cableada

7

La correcta interpretación de los circuitos de automatismos eléctricos pasa por identificar todos los componentes que pueden intervenir en los mismos, conocer las funciones que desarrollan y saber interpretar sus esquemas asociados.

En esta unidad aprenderemos a realizar y desarrollar circuitos de automatismos industriales en lógica cableada, analizando todos los componentes y peculiaridades asociados a los mismos.

Contenidos

- 7.1. Interpretación de los circuitos de automatismos
- 7.2. Dispositivos de control manual
- 7.3. Maniobras en los circuitos de automatismos
- 7.4. Dispositivos de control automático
- 7.5. Temporizadores y circuitos temporizados
- 7.6. Automatismos domésticos
- 7.7. Representación y marcado de componentes

Objetivos

- Aprender a interpretar los esquemas de fuerza y maniobra de los automatismos eléctricos.
- Conocer los dispositivos de control manual que intervienen en los circuitos.
- Definir las posibles maniobras asociadas a los circuitos automáticos.
- Conocer los dispositivos de control automático que intervienen en los circuitos.
- Dar a conocer los dispositivos de temporización y los automatismos domésticos.
- Dominar y comprender la representación y marcado de componentes en los circuitos de automatismos industriales.

7.1. Interpretación de los circuitos de automatismos

Tal como se ha mencionado en unidades anteriores, los automatismos eléctricos están formados por dos tipos de circuitos. El circuito de **fuerza o potencia**, mediante el cual se suministra energía a los **receptores** finales a través de las respectivas protecciones (generalmente motores eléctricos), y el circuito de **mando o maniobra**, cuya función principal es la de gobernar y gestionar el comportamiento del propio circuito de fuerza (generalmente a través de la alimentación de **electroimanes**).

Los automatismos basados en lógica cableada siempre van a requerir la intervención de uno o más operarios sobre el circuito de maniobra, como mínimo para poner el sistema en marcha y generalmente también para detenerlo. El fundamento principal que define a un automatismo industrial, por tanto, es que no requiere la intervención directa de ninguna persona sobre los circuitos de fuerza para que el sistema funcione con total normalidad.

SABÍAS QUE

La conmutación manual sobre un circuito de potencia puede realizarse a través de interruptores o conmutadores de fuerza de dos o tres posiciones, pero en estos **casos no se trata de instalaciones automatizadas propiamente dichas**.

7.1.1. Representación gráfica de los circuitos de automatismos

Todos los circuitos relacionados con el entorno de los automatismos eléctricos se representan gráficamente en estado de **reposo**. En esta situación, es posible encontrar dos tipos de contactos:

- **Normalmente abiertos (NO).** Se encuentran abiertos en estado de reposo, por lo que no permiten el paso de la corriente eléctrica.
- **Normalmente cerrados (NC).** Se encuentran cerrados en estado de reposo, permitiendo el paso de la corriente eléctrica.

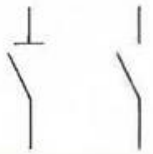


Figura 7.1. *Ejemplos de representación de contactos NO.*

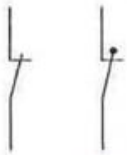


Figura 7.2. *Ejemplos de representación de contactos NC.*

Puesto que un determinado dispositivo puede tener asociados varios contactos diferentes, tanto en la parte de fuerza como en la parte de maniobra, existen dos métodos para mostrar que componentes y contactos están vinculados:

- Mediante **líneas discontinuas**: solo aplicable en circuitos pequeños o en elementos que se encuentren muy próximos, dado que de lo contrario su uso podría resultar confuso. A continuación se muestran dos ejemplos:

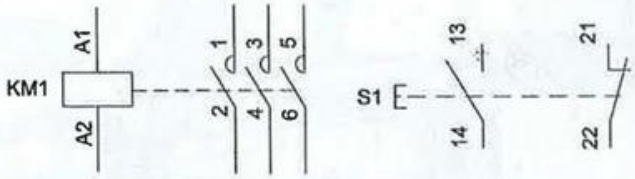


Figura 7.3. *Líneas discontinuas de vinculación de elementos.*

- Mediante **código alfanumérico**: los contactos o elementos que están asociados o que pertenecen a un mismo dispositivo físico, comparten idéntico código identificativo:

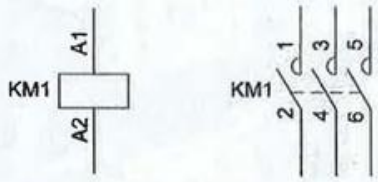


Figura 7.4. *Vinculación de elementos mediante código alfanumérico.*

7.1.2. El contactor en los esquemas de automatismos

Dado que las operaciones de marcha y paro, así como otras auxiliares, se realizan sobre los circuitos de maniobra, es necesario contar con un dispositivo o componente que sirva de enlace con los circuitos de fuerza: *el contactor*.

Tal como se ha estudiado en la Unidad 2, el contactor está compuesto básicamente por un electroimán, un grupo de contactos principales y un grupo de contactos auxiliares. Los **contactos principales** están abiertos en estado de reposo (es decir, serán de tipo *normalmente abierto* "NO") e irán conectados en el circuito de fuerza. Los **contactos**

auxiliares, que irán asociados al circuito de maniobra, podrán ser de tipo *normalmente abierto* "NO", o *normalmente cerrado* "NC". La mayoría de los contactores traen por defecto un contacto auxiliar de tipo NC y otro contacto auxiliar de tipo NO.

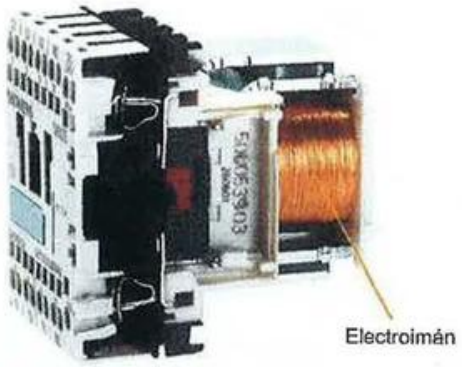


Figura 7.5. *Detalle del electroimán de un contactor trifásico.*

En estado de reposo, un contactor común podría ser representado de la siguiente forma:

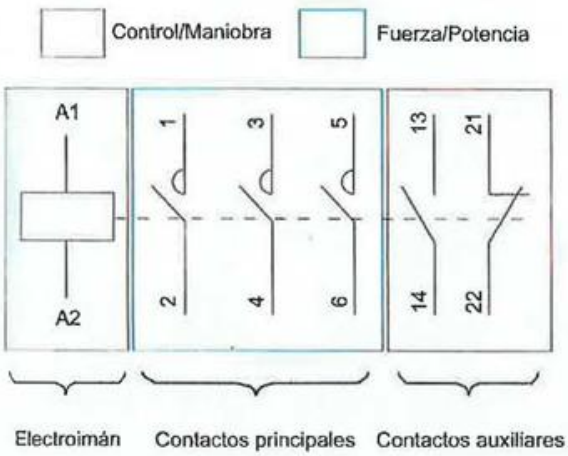


Figura 7.6. *Representación gráfica de un contactor en estado de reposo.*

Cuando se **alimenta el electroimán** del contactor y es recorrido por una corriente eléctrica, se dice entonces que el contactor **está activado** y, como consecuencia, los contactos que en estado de reposo estaban cerrados se abrirán, y los que estaban abiertos se cerrarán.

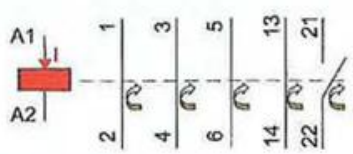
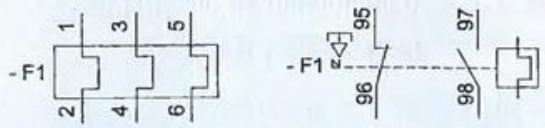


Figura 7.7. *Representación gráfica del contactor activado.*

Actividad propuesta 7.1

Como recordarás, existen otros dispositivos relacionados con las instalaciones de automatismos industriales que intervienen tanto en el circuito de fuerza como en el circuito de mando. A continuación se muestra el detalle de un circuito automático en el que interviene uno de estos dispositivos, analízalo y responde a las preguntas:



Circuito de fuerza. Circuito de maniobra.

a) ¿De qué componente se trata?

b) ¿Qué función cumple este elemento? ¿Cómo o por qué se activa?

c) Indica qué ocurre con cada uno de los contactos mostrados, indicando cómo actúan en estado de reposo y cuándo se activa el dispositivo.

Como se ha comentado, la mayoría de los contactores traen por defecto un contacto auxiliar de tipo NC y otro contacto auxiliar de tipo NO. No obstante, en ocasiones resulta necesario disponer de más contactos auxiliares asociados a un mismo contactor, por lo que los fabricantes de estos dispositivos facilitan bloques de contactos auxiliares, los cuales en la mayoría de los casos se ensamblan en la parte frontal del contactor.

Lo más usual es que dichos bloques dispongan de dos contactos NO y otros dos contactos NC.

Figura 7.8. *Bloques de contactos auxiliares en contactores.*

SABÍAS QUE

En función de la fuente de energía que obliga al contactor a mantener la posición de trabajo, se distinguen tres tipos de contactores: electromagnéticos, neumáticos y electroneumáticos.

7.1.3. Alimentación de los circuitos de potencia y maniobra

Puesto que los circuitos de potencia y maniobra suministran energía eléctrica a receptores distintos, su alimentación tampoco tiene por qué estar relacionada.

Los circuitos de **potencia** se alimentan siempre de manera directa desde la red eléctrica principal, es decir:

- Polo positivo y polo negativo para receptores de corriente continua.
- Fase y neutro para receptores de corriente alterna monofásica.
- Tres fases para receptores trifásicos.

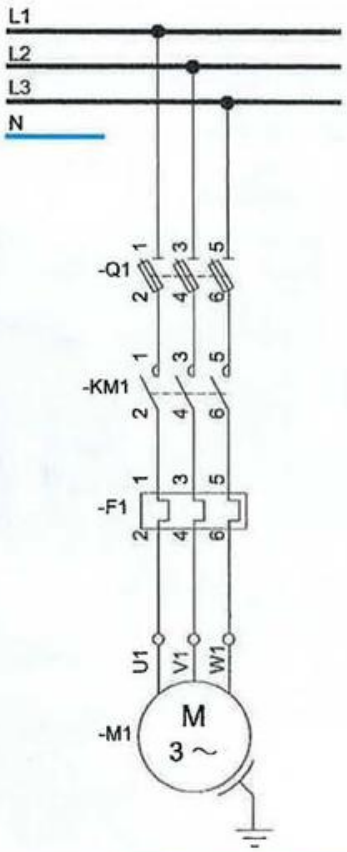


Figura 7.9. *Ejemplo de alimentación de un circuito de fuerza con receptor trifásico.*

Respecto a los circuitos de **maniobra**, la alimentación puede obtenerse de varias formas, dependiendo del tipo de dispositivos utilizados:

- En corriente alterna monofásica, directamente desde la red eléctrica.
- En corriente alterna monofásica, reduciendo la tensión mediante un transformador.
- En corriente continua.

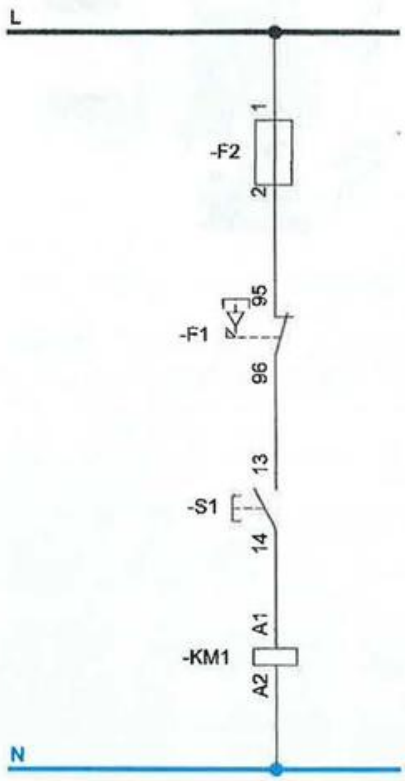


Figura 7.10. *Ejemplo de alimentación de un circuito de maniobra directamente desde la red eléctrica.*

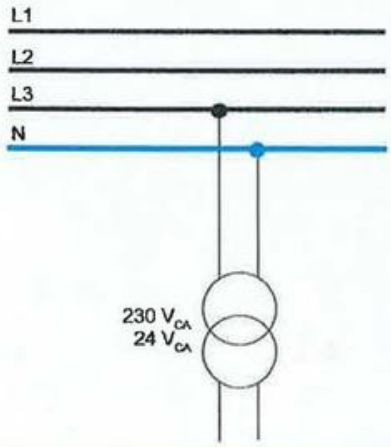


Figura 7.11. *Alimentación a través de un transformador.*

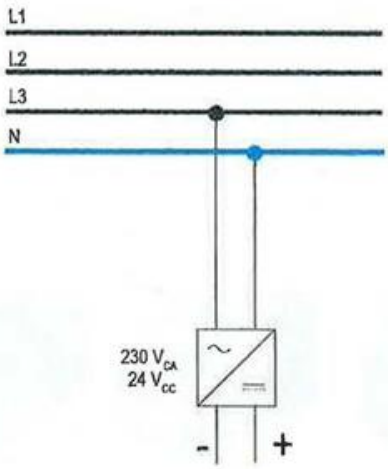


Figura 7.12. *Alimentación en corriente continua.*

SABÍAS QUE

La protección magnetotérmica de los circuitos de maniobra se realiza generalmente por medio de interruptores automáticos de bipolares (2x6A o 2x10A) o fusibles de pequeño calibre.

En lo que respecta al control y gestión de los circuitos de automatismos industriales, se realiza desde el circuito de maniobra mediante dispositivos de control manual (interruptores o pulsadores) o automático (sensores y detectores). A continuación serán analizadas todas las posibilidades.

7.2. Dispositivos de control manual

De entre todos los dispositivos de maniobra manual presentes en el mercado y diseñados para ser integrados en circuitos de maniobra, los de mayor uso en instalaciones de automatismos industriales son los interruptores y los pulsadores.

7.2.1. Interruptores

Se caracterizan porque una vez activados, se mantienen permanentemente en ese estado hasta que se vuelve a maniobrar sobre ellos. Los más utilizados en los circuitos de mando de las instalaciones de automatismos industriales son los siguientes:

- **Interruptor simple de dos posiciones:** permite la conmutación del circuito entre los estados de abierto o cerrado. Existen de tipo basculante, rotativo y de palanca.

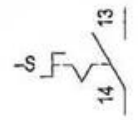


Figura 7.13. *Símbolo genérico del interruptor.*

Figura 7.14. *Interruptor de dos posiciones basculante.*

Figura 7.15. *Interruptor de dos posiciones de palanca.*

- **Interruptor conmutador de dos posiciones:** permite la conmutación del circuito entre dos estados de marcha distintos.

Figura 7.16. *Símbolo del conmutador de dos posiciones.*

- **Interruptor conmutador de tres o más posiciones:** permite la conmutación del circuito entre dos estados de marcha distintos (como mínimo) y un estado de paro. Los interruptores de tres posiciones pueden ser de tipo basculante y de palanca, pero los más frecuentes en instalaciones de automatismos son los de tipo rotativo. Los de cuatro o más posiciones son casi siempre rotativos.

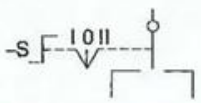


Figura 7.17. *Símbolo del conmutador de tres posiciones.*

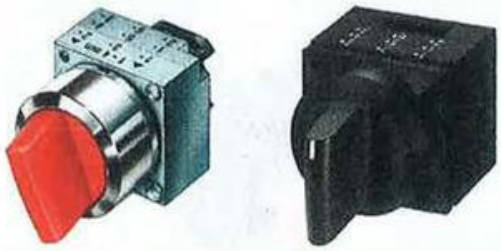


Figura 7.18. *Interruptor conmutador rotativo de tres posiciones. (Cortesía de Siemens.)*

- **Interruptores de llave:** solo pueden ser accionados mediante el giro de una llave

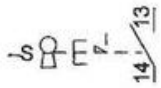


Figura 7.19. *Símbolo del interruptor de llave.*

Figura 7.20. *Interruptor de llave. (Cortesía de Siemens.)*

La mayoría de los interruptores generalmente suelen tener un único contacto asociado, pero también resulta posible encontrar en el mercado los denominados **interruptores de doble cámara de contactos**, los cuales poseen dos contactos auxiliares asociados, por regla general uno normalmente cerrado (NC) y otro normalmente abierto (NO).

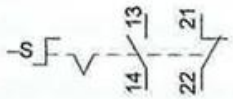


Figura 7.21. *Símbolo del interruptor de doble cámara de contactos.*

7.2.2. Pulsadores

Se caracterizan porque una vez activados, únicamente se mantienen en este estado mientras dure la presión sobre su superficie. En el momento que se deja de presionar un pulsador, este vuelve a su estado de reposo. Son, sin lugar a duda, los dispositivos de maniobra más utilizados en los circuitos de mando de las instalaciones de automatismos industriales.

Figura 7.22. *Pulsador. (Cortesía de Siemens.)*

Generalmente, se codifican bajo un código de colores, siendo:

- De color **verde**, el pulsador de **marcha**. Tendrá asociado un contacto normalmente abierto (**NO**).
- De color **rojo**, el pulsador de **paro**. Tendrá asociado un contacto normalmente cerrado (**NC**).

Figura 7.23. *Representación de pulsadores. (Cortesía de Siemens.)*

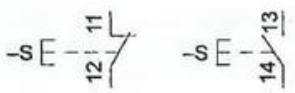


Figura 7.24. *Simbología asociada a los pulsadores de paro (con contacto NC) y marcha (con contacto NO).*

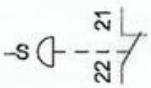


Figura 7.25. *Símbolo del pulsador de paro de emergencia.*

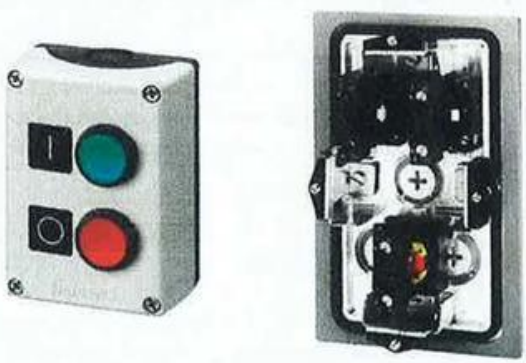


Figura 7.26. *Detalle de los bornes de conexión de una botonera de paro-marcha. (Cortesía de Siemens.)*

También resulta posible encontrar pulsadores especiales, como los pulsadores de pedal (que son activados con el pie del operario) o los pulsadores de palanca.

Figura 7.27. *Pulsador de palanca. (Cortesía de Siemens.)*

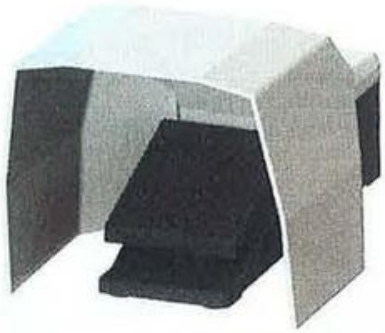


Figura 7.28. *Pulsador de pedal. (Cortesía de Siemens.)*

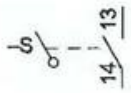


Figura 7.29. *Símbolo del pulsador de palanca.*

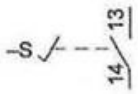


Figura 7.30. *Símbolo del pulsador de pedal.*

Al igual que en el caso de los interruptores, la mayoría de los pulsadores suelen disponer de un único contacto asociado, pero también resulta posible encontrar en el mercado los denominados **pulsadores de doble cámara de contactos**, los cuales poseen dos contactos auxiliares asociados.

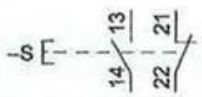


Figura 7.31. *Símbolo del pulsador de doble cámara de contactos.*

Actividad propuesta 7.2

¿Qué caracteriza a un interruptor o pulsador con doble cámara de disparo?

Propón una situación que se te ocurra dentro de un proceso industrial en el que sea necesario utilizar un interruptor o pulsador con doble cámara de disparo.

7.2.3. Instalaciones con varios puestos de mando

Determinados circuitos de potencia deben ser controlados desde varios lugares de una misma instalación, por ejemplo, es muy común encontrar receptores que disponen de circuitos de mando duplicados, uno en la cabina de control general y otro a *pie de máquina*.

En estos casos únicamente es posible interactuar con el circuito de maniobra mediante pulsadores, ya que un interruptor solo podría ser activado y desactivado desde un único lugar.

En estos casos es necesario tener muy en cuenta la correcta conexión de los pulsadores para no cometer errores que desencadenen fallos de funcionamiento. Dicha conexión debe ser:

- En **paralelo** los pulsadores de **marcha**, de manera que accionando cualquiera de los dos el circuito entre en funcionamiento.
- **En serie** los pulsadores de **paro**, de manera que el circuito se detenga con accionar cualquiera de los dos pulsadores.

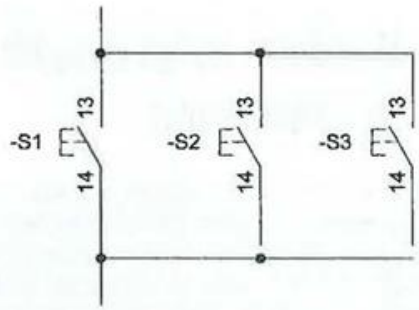


Figura 7.32. *Ejemplo de conexionado de tres pulsadores de marcha.*

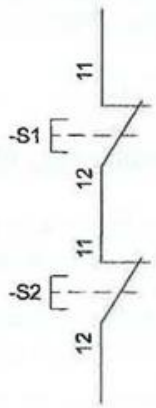


Figura 7.33. *Ejemplo de conexionado de dos pulsadores de paro.*

Actividad resuelta 7.1

¿Qué ocurriría si se conectasen dos pulsadores de paro en paralelo? ¿Y si se conectasen dos pulsadores de marcha en serie? ¿Para qué aplicaciones podrían resultar útiles estas conexiones?

Solución:

Si se conectan en serie dos pulsadores de marcha, al tener asociados contactos normalmente abiertos, el circuito solo podría entrar en funcionamiento si ambos son accionados a la vez. Por el contrario, si se conectan en paralelo dos pulsadores de paro, al tener asociados contactos normalmente cerrados, el circuito solo podría detenerse si ambos son accionados a la vez, ya que de lo contrario siempre circularía corriente por uno de los dos.

Este tipo de conexiones, no obstante, pueden ser utilizadas para aumentar la seguridad de los circuitos, ya que el hecho de que deban accionarse dos pulsadores de manera simultánea evita en gran medida las maniobras accidentales.

7.3. Maniobras en los circuitos de automatismos

En los circuitos de automatismos que funcionan mediante el uso de interruptores, cada una de las maniobras (marcha I, marcha II, paro, etc.) vienen determinadas por la posición fija del propio interruptor. Sin embargo, en la práctica, la mayoría de las instalaciones industriales cuentan con pulsadores para gobernar los circuitos de mando. En estos casos existen dos posibles modos de funcionamiento dadas las características intrínsecas del pulsador: a través de pulsos o de manera permanente mediante un contacto de realimentación.

7.3.1. Funcionamiento por pulsos

Puesto que un pulsador vuelve a su posición original cuando se deja de ejercer presión sobre su superficie, en condiciones normales de funcionamiento los circuitos de mando gobernados mediante pulsadores únicamente pueden ser activados de manera intermitente, es decir "a saltos o pulsos".

En estas situaciones no es necesario disponer de un pulsador de paro, puesto que el propio pulsador de marcha es el que detiene el circuito cuando deja de ser accionado.

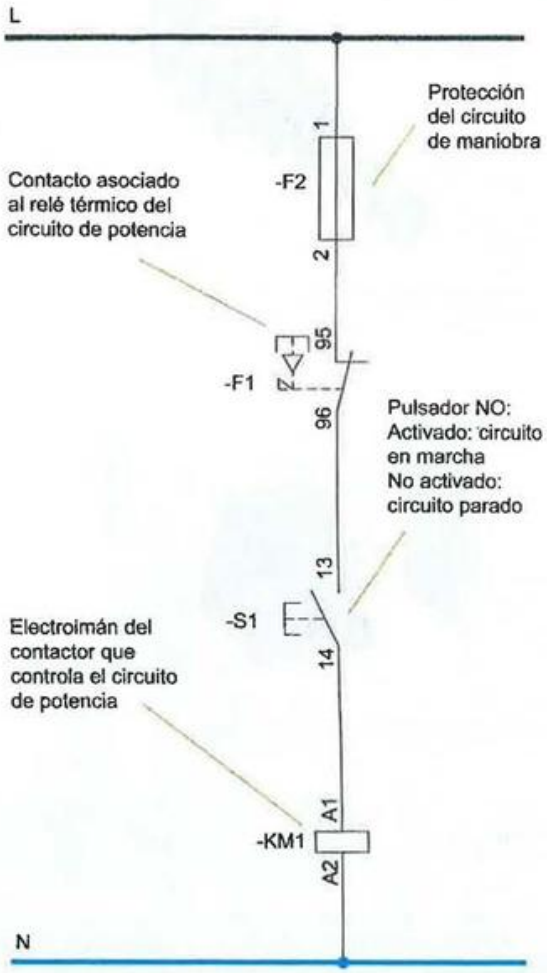


Figura 7.34. *Circuito de maniobra gobernado mediante pulsos.*

7.3.2. Funcionamiento continuo: la realimentación

Tal como se ha explicado, en condiciones normales el pulsador solo permite el funcionamiento de un circuito de potencia "a saltos", y dado que este dispositivo es el más utilizado en los circuitos de maniobra de las instalaciones de automatismos industriales, resulta imprescindible aplicar un método de conexionado mediante el cual un circuito de maniobra pueda seguir recibiendo corriente eléctrica aunque el operario haya dejado de oprimir el pulsador. Esto se consigue mediante la denominada **realimentación**.

La realimentación consiste en cortocircuitar el pulsador de marcha de un circuito de maniobra, colocando en paralelo a este un contacto auxiliar normalmente abierto perteneciente al contactor que deba permanecer activo durante el tiempo que dure el proceso. De esta manera, mientras la

bobina del electroimán reciba corriente, el contacto auxiliar del contactor permanecerá cerrado, permitiendo el paso de la corriente.

En estas circunstancias de funcionamiento la única forma de detener el circuito será mediante el accionamiento de un pulsador de paro.

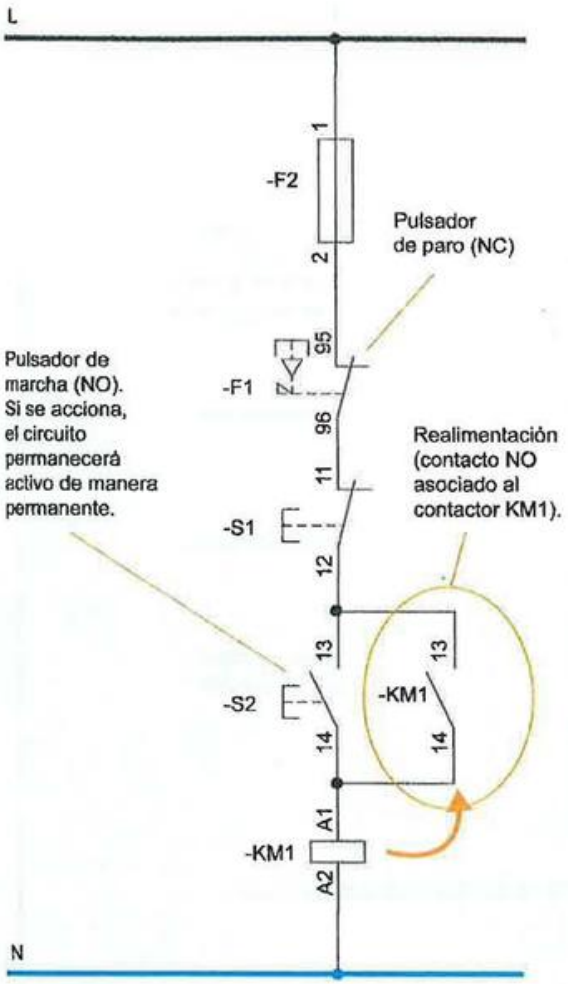


Figura 7.35. *Circuito de maniobra con realimentación.*

SABÍAS QUE

Este método de trabajo se denomina realimentación porque es el propio contactor (mediante un contacto NO) el que permite el paso de la corriente eléctrica hasta su propio electroimán.

El electroimán mantiene cerrado el contacto auxiliar y el contacto auxiliar alimenta al electroimán, de manera que se retroalimentan y el circuito se mantiene en marcha permanente hasta que se interrumpe la alimentación accionando el pulsador de paro.

7.3.3. Pilotos de señalización de marcha y paro

Cuando un contactor está activado, en la mayoría de los casos implica que uno o varios receptores se encuentran en estado de funcionamiento. Si los circuitos de maniobra son controlados mediante un pulsador y un sistema de realimentación, a los operarios les puede resultar complicado saber si el circuito está en marcha, dado que el contactor vuelve al estado de reposo al dejar de ser pulsado.

En estos casos resulta muy frecuente utilizar pilotos de señalización asociados en paralelo a las bobinas de los contactores principales, para indicar el estado activo del mismo.

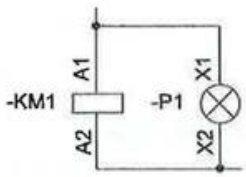


Figura 7.36. *Representación del electroimán de un contactor con piloto de marcha asociado.*

Figura 7.37. *Detalle de los bornes de conexión de un piloto de señalización.*

Figura 7.38. *Piloto de señalización para carril DIN. (Cortesía de Siemens.)*

Otro dispositivo que suele tener asociado un piloto indicador es el relé térmico. Alimentado a través de un contacto normalmente abierto, se activa cuando el relé entra en marcha por exceso de corriente en el circuito de potencia. El piloto asociado al relé térmico tiene asignado el color rojo, de manera que cualquier operario puede conocer el motivo por el cual se ha detenido el proceso al verlo iluminado.

RECUERDA

Los pilotos de señalización se identifican por la letra P, las lámparas, sin embargo, se identifican por la letra H.

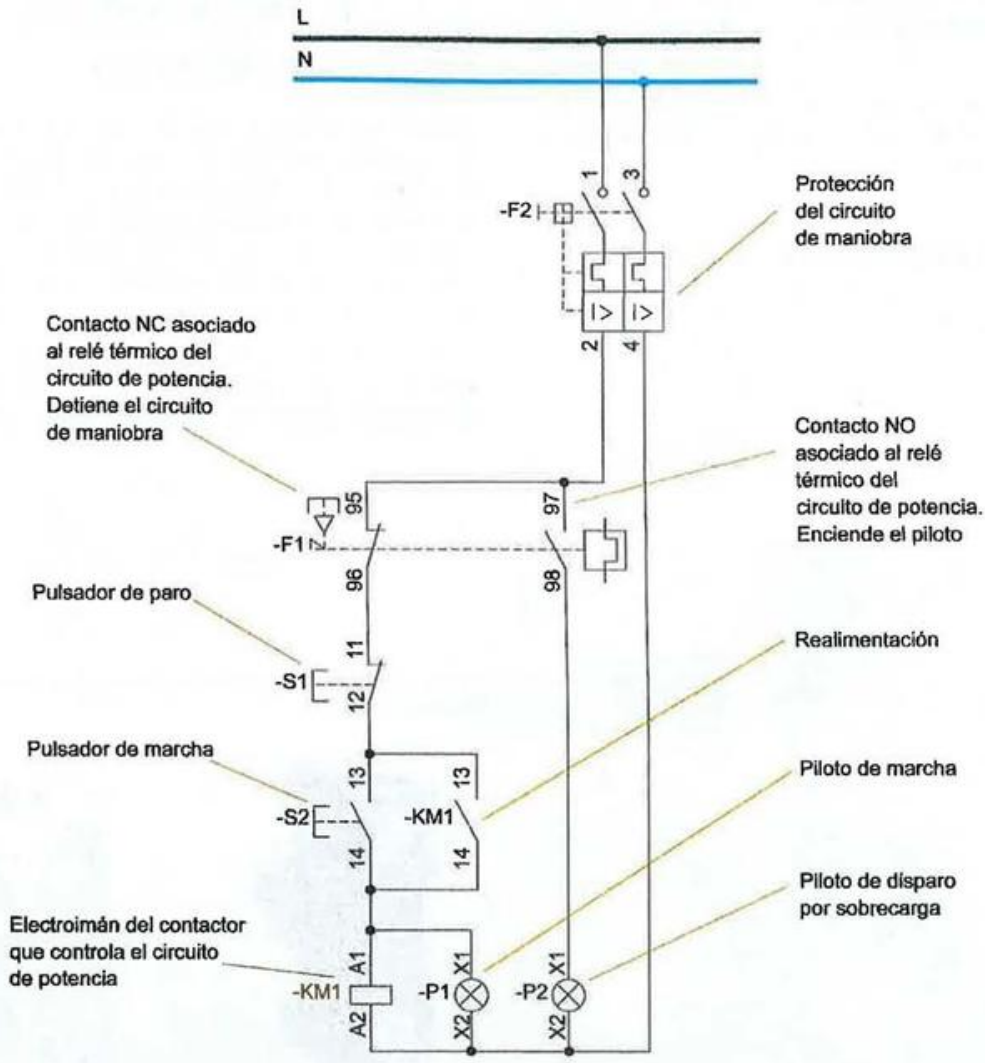


Figura 7.39. *Esquema de maniobra completo, con realimentación y pilotos señalizadores de marcha y disparo por sobrecarga.*

7.3.4. El enclavamiento

En ocasiones puede resultar necesario bloquear la puesta en marcha de un determinado contactor temporalmente, durante el funcionamiento de un circuito, dado que su activación accidental junto a otro podría desencadenar problemas como cortocircuitos entre las fases o daños directos al receptor conectado.

En estos casos se realiza el denominado **enclavamiento de maniobras**, que impedirá que los contactos de un contactor puedan cerrarse mientras otro dispositivo, generalmente otro contactor, se encuentre activado.

Existen básicamente dos tipos de enclavamiento:

- **Enclavamiento mecánico**, mediante elementos físicos de bloqueo de los propios dispositivos.

Figura 7.40. *Elemento de enclavamiento mecánico. (Cortesía de Siemens.)*

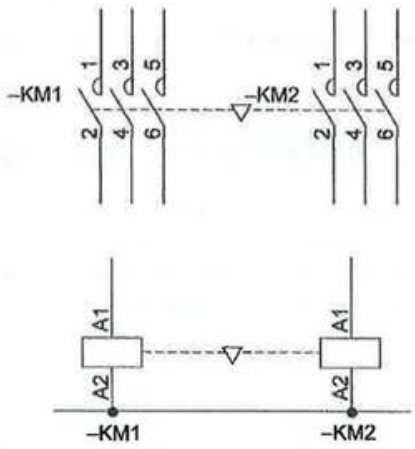


Figura 7.41. *Representación gráfica de enclavamiento mecánico entre contactores (potencia y maniobra).*

Figura 7.43. *Contactores asociados con enclavamiento mecánico y eléctrico. (Cortesía de Siemens.)*

- **Enclavamiento eléctrico**, mediante el diseño y uso sobre el circuito de maniobra de contactos auxiliares normalmente cerrados (NC) de un contactor en serie con el dispositivo a bloquear, de tal forma que cuando se encuentre activado aísle el otro circuito.

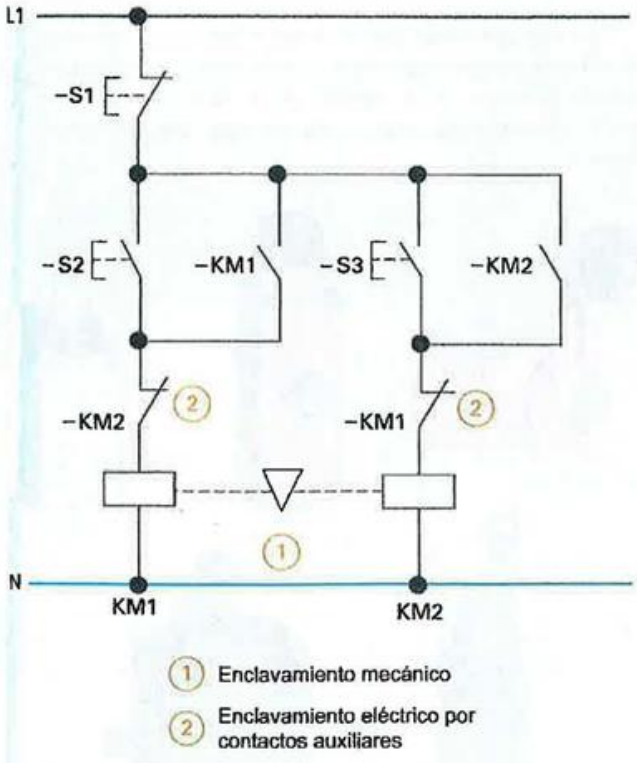


Figura 7.42. *Representación de enclavamientos mecánicos y eléctricos entre contactores, en circuitos de maniobra.*

RECUERDA

Los contactores siempre traen disponibles por defecto, y como mínimo, un contacto normalmente cerrado (NC) y un contacto normalmente abierto (NO). De esta manera el fabricante posibilita tanto la realimentación como la posibilidad de enclavamiento eléctrico.

7.4. Dispositivos de control automático

En el entorno de los automatismos industriales, los circuitos de maniobra también pueden ser gobernados por dispositivos cuyo control es totalmente automático: **los detectores y sensores.**

Estos componentes se encargan de medir variables externas (como temperatura, presión, movimiento y similares) y a continuación realizan alguna de estas dos funciones:

- En circuitos de lógica digital, envían la información captada en forma de señales eléctricas hacia el sistema. Estas señales generalmente serán recogidas y procesadas por ordenadores o autómatas programables.
- En circuitos de lógica cableada, abrirán o cerrarán los contactos auxiliares que tengan asociados.

En la actualidad, existen numerosos tipos de dispositivos de control y maniobra automáticos, que se clasifican en función del tipo de variable que son capaces de medir o ante la que reaccionan. Hay que tener muy en cuenta, además, que esta es un área de aplicación en constante desarrollo y evolución.

En la siguiente tabla se muestran los componentes de control automático más destacables:

Tabla 7.1. Dispositivos de control automático.

Dispositivos de control de posición	Finales de carrera mecánicos	
	Sensores de proximidad	Inductivos
		Capacitivos
		Por ultrasonidos
	Sensores ópticos	
	Sensores de campo magnético	
	Sensores magnetorresistivos	
Dispositivos de control de desplazamiento	Detectores de gran distancia, de corta distancia o de pequeño desplazamiento	Inductivos
		Capacitivos
		Resistivos
		De infrarrojos
	Detectores de ángulo	
	Sensores de variación de nivel por flotador	
	Sensores de inclinación	
Dispositivos de control de velocidad	Tacómetro	
	Medidor de impulsos	
	Detectores ópticos	
Dispositivos de control de presión	Mecánicos	
	Electromecánicos	
	Electrónicos	
Dispositivos de control de temperatura	Termorresistencias	
	Termistores	
	Termopares	
	Pirómetros de radiación	
Dispositivos de control de luz	Resistencias LDR	
	Fotodiodos	
	Detectores de luminiscencia	
	Sensores fotoeléctricos	
	Sensores de color	
Detectores de error o comparadores	Potenciómetros	
	Ópticos	

De entre todos los dispositivos mostrados en la tabla anterior, aquellos que suelen ser más utilizados en las instalaciones de automatismos industriales se exponen y definen a continuación:

7.4.1. Detectores y sensores mecánicos

También denominados como **interruptores de posición** o **interruptores final de carrera**, se caracterizan porque reaccionan ante una fuerza o presión externa sobre un cabezal, generalmente producida por un elemento mecánico del proceso industrial.

Figura 7.44. Principio de funcionamiento de los interruptores de posición.

Para este tipo de dispositivos es posible encontrar numerosos tipos de cabezales de accionamiento, como palanca, émbolo, cilindro, leva, varilla, etc.). Algunos fabricantes facilitan incluso que dichos cabezales puedan ser intercambiables.

Figura 7.45. Interruptores de posición. (Cortesía de Siemens.)

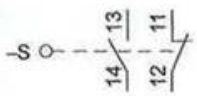


Figura 7.46. *Símbolo genérico de un contacto accionado mecánicamente.*

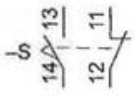


Figura 7.47. *Símbolo de un interruptor de posición.*

7.4.2. Detectores y sensores de proximidad

Los detectores y sensores de proximidad son posiblemente los más utilizados en las instalaciones de automatismos industriales, junto con los interruptores final de carrera. Se caracterizan porque son capaces de detectar la posición de un objeto o su desplazamiento sin que exista contacto.

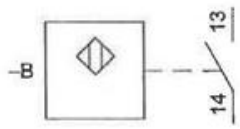


Figura 7.48. *Símbolo genérico del detector de proximidad.*

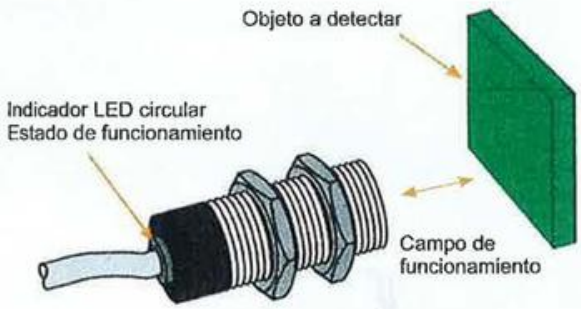


Figura 7.49. *Rango de funcionamiento o alcance de los detectores de proximidad.*

Los detectores de proximidad pueden clasificarse en varios subgrupos, dependiendo de la técnica utilizada en la detección. Los más comunes se definen a continuación:

- **Detectores inductivos:** son utilizados para la detección de materiales metálicos ferrosos mediante campos magnéticos. Su rango de alcance es muy reducido y preciso, pudiendo ser la distancia máxima hasta el objeto de fracciones de milímetro hasta 40 mm de promedio. Existe una gran variedad de formatos de sensores inductivos como: cilíndricos, chatos, rectangulares, etc., siendo los de tipo cilíndrico los más usuales en las aplicaciones industriales.

Figura 7.50. *Detectores inductivos. (Cortesía de Balluff.)*

- **Detectores capacitivos:** son muy similares a los inductivos en lo que respecta a la forma y rango de alcance, pero se caracterizan porque permiten la detección de todo tipo de materiales, sean metálicos o no lo sean.

Figura 7.51. *Detectores capacitivos. (Cortesía de Balluff.)*

Sistema capacitivo para la detección de líquidos

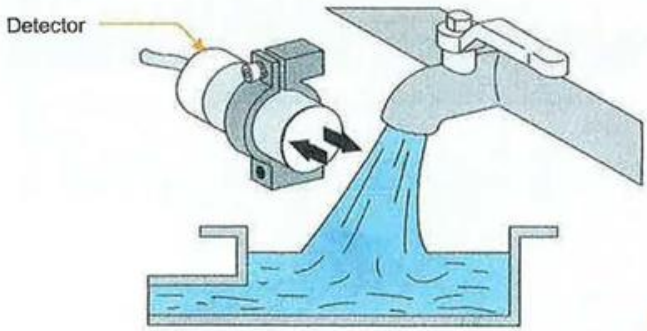


Figura 7.52. *Principio de funcionamiento de un detector capacitivo.*

- **Detectores fotoeléctricos:** utilizan un rayo o un haz de luz, que puede ser visible o de infrarrojos, como medio de detección. La distancia que son capaces de supervisar depende de la propia tecnología del detector, existiendo detectores fotoeléctricos de barrera (que pueden llegar a abarcar distancias de decenas de metros), detectores fotoeléctricos réflex (diseñados para la detección en rangos de varios metros) y detectores fotoeléctricos de alta precisión (diseñados para la detección de milímetros o centímetros).

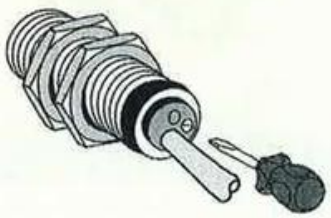
Figura 7.53. *Detectores fotoeléctricos. (Cortesía de Balluff.)*

- **Detectores por ultrasonidos:** los detectores por ultrasonidos, o detectores ultrasónicos, detectan objetos y materiales con diferentes formas, colores y superficies, emitiendo ondas sonoras que rebotan en la pieza a detectar y regresan al emisor. Su rango de alcance oscila entre decenas de centímetros hasta 8 o 10 metros.

Figura 7.54. *Detector por ultrasonidos. (Cortesía de Balluff.)*

SABÍAS QUE

La mayoría de los detectores de proximidad pueden ser regulados.



Conexión de los detectores de proximidad

Los detectores y sensores de proximidad pueden tener asociados contactos NO o NC y su conexión se podrá realizar **a dos hilos** (en serie con la carga) o a **tres hilos**.

Para la conexión a tres hilos es necesario tener en cuenta si la salida del sensor es de tipo **PNP** o **NPN**, dado que la carga se conecta de manera inversa en cada uno de ellos. Los NPN tienen salida positiva y los PNP salida negativa, tal como se muestra en la Figura 7.55. Cabe destacar que dentro de un mismo sensor es posible disponer de contactos NO/NC de tipo PNP y otros de tipo NPN.

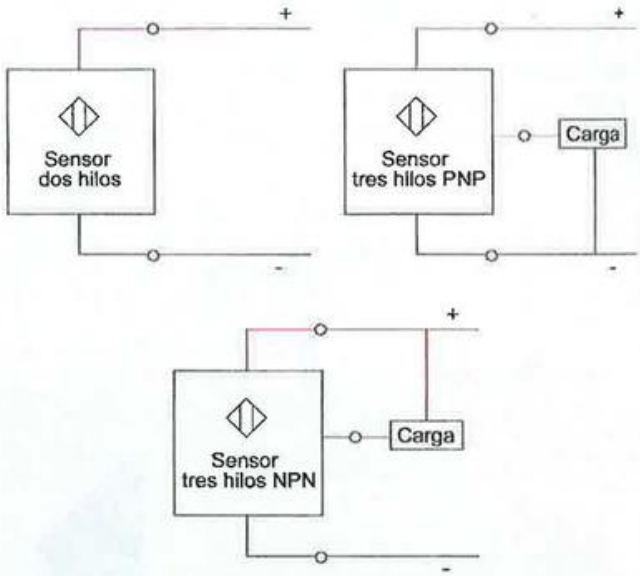


Figura 7.55. *Detalle de las posibles conexiones de los sensores de proximidad.*

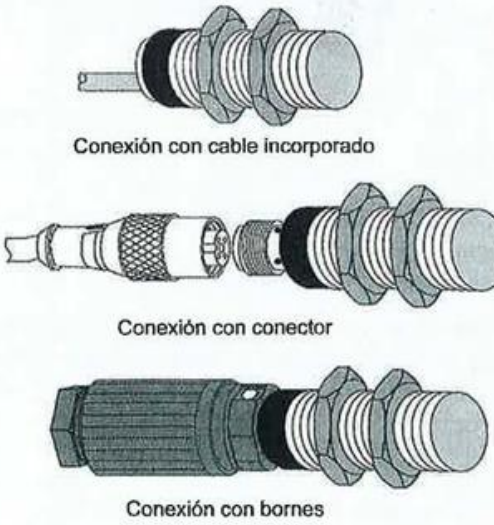


Figura 7.56. *Ejemplos de ensamblaje de un detector capacitivo.*

En lo que respecta al tipo de ensamblaje de los detectores, tal como se aprecia en la Figura 7.56 puede ser básicamente de tres tipos:

- Conexión con cable incorporado.
- Conexión con conector.
- Conexión sobre bornes.

7.4.3. Detectores y sensores de variables físicas externas

En este grupo se enmarcan aquellos dispositivos capaces de medir y actuar en función de variables físicas externas como la temperatura, la luminosidad, la presión, etc.

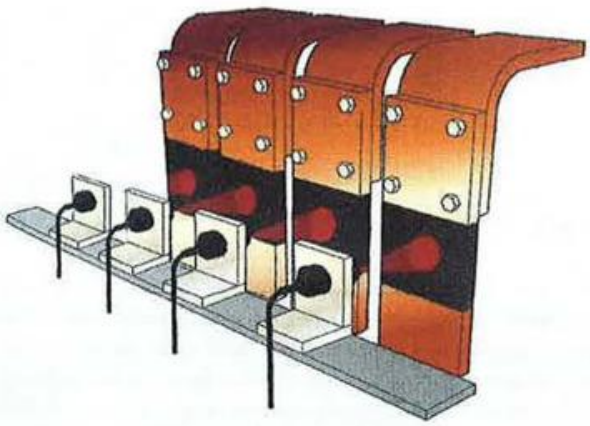


Figura 7.57. *Detector de temperatura de embarrados. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 7.58. *Detector de luminiscencia.*

Figura 7.59. *Sensores de presión.*

Tabla 7.2. Simbología asociada a los detectores de variables físicas externas.

Variable a medir	Símbolo asociado
Temperatura	–B ϑ
Presión	–B p
Velocidad (tacómetro)	–B n
Luminosidad (fotodiodo)	–B
Frecuencia	–B f
Nivel de un fluido	–B
Presencia de un caudal	–B
Número de sucesos	–B

7.5. Temporizadores y circuitos temporizados

Los temporizadores, también conocidos como relés temporizados, son dispositivos asociados a los circuitos de mando que permiten regular el tiempo que tardarán en actuar sus contactos asociados una vez han recibido o dejado de recibir corriente eléctrica. Están formados básicamente por un electroimán y varios contactos auxiliares NO y NC.

Ese tiempo de actuación predeterminado se ajusta sobre el propio dispositivo, y según el modelo y fabricante un temporizador será capaz de regular acciones de tiempo desde milisegundos hasta horas.

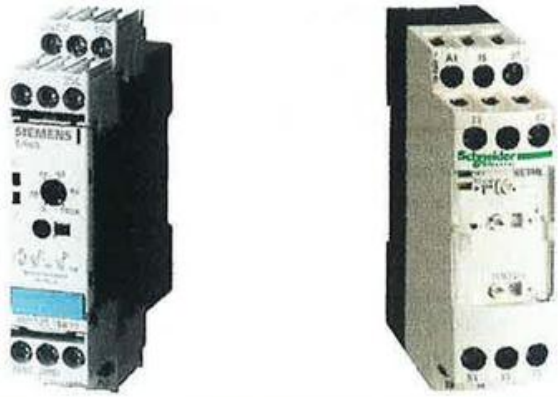


Figura 7.60. *Temporizadores para carril DIN. (Cortesía de Siemens y Schneider Electric.)*

Según su **funcionamiento**, los diferentes tipos de temporizadores se pueden clasificar en:

- **Temporizadores instantáneos:** actúan de manera inmediata cuando el electroimán recibe corriente eléctrica. Se representan igual que la bobina de un contactor, pero cambia el código identificador asociado.

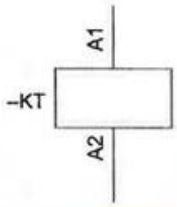


Figura 7.61. *Símbolo del temporizador instantáneo.*

- **Temporizadores a la conexión:** realizan la apertura o cierre de sus contactos asociados un tiempo **después de que el electroimán haya sido alimentado.** Cuando el temporizador deja de ser alimentado, los contactos vuelven a su estado de reposo de manera inmediata.

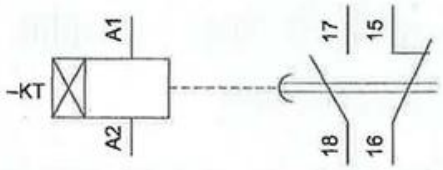


Figura 7.62. *Símbolo del temporizador a la conexión y contactos auxiliares asociados.*

- **Temporizadores a la desconexión:** realizan la apertura o cierre de sus contactos de manera instantánea cuando el electroimán es alimentado. Sin embargo, **una vez que la bobina deja de recibir tensión, los contactos no volverán a su estado de reposo** hasta pasado el tiempo predefinido.

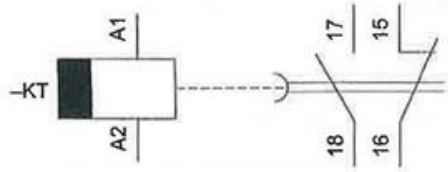


Figura 7.63. *Símbolo del temporizador a la desconexión y contactos auxiliares asociados.*

- **Temporizadores a la conexión-desconexión:** cumplen las dos condiciones anteriormente expuestas, es decir, demoran la apertura o cierre de los contactos tanto a conexión (en el momento en que el electroimán recibe tensión) como a la desconexión (en el momento en que el electroimán deja de recibir tensión).

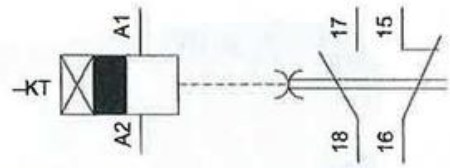


Figura 7.64. *Símbolo del temporizador a la conexión-desconexión y contactos auxiliares asociados.*

Según su **tipología**, los temporizadores pueden ser de dos tipos: **dispositivos independientes** o **asociados a un contactor.** Estos últimos consisten en un bloque que se acopla a la parte frontal de los contactores, y temporizan la entrada en funcionamiento de sus contactos auxiliares una vez el electroimán del contactor ha comenzado a recibir corriente.

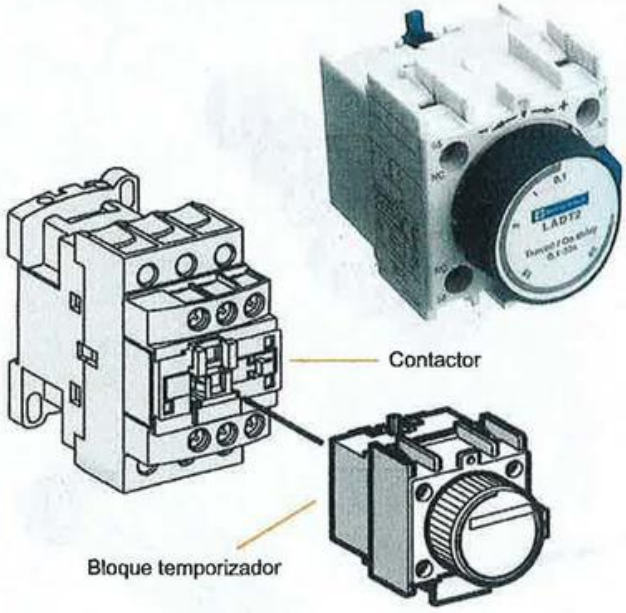


Figura 7.65. *Temporizadores de cámara de contactor. (Cortesía de Schneider Electric.)*

En estos casos debe tenerse en cuenta que los contactos auxiliares pertenecen al propio contactor, de manera que la forma de designarlos no se ve afectada (se designan como KM en lugar de KT).

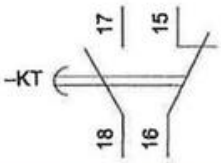


Figura 7.66. *Símbolo y designación de un contacto temporizado por cámara de contactor.*

SABÍAS QUE

Existen temporizadores que permiten ejercer funciones de maniobra por **pulsos de tiempo**, es decir, de manera intermitente. Se identifican con el siguiente símbolo, que se ubica delante del electroimán:

7.5.1. Diagramas secuenciales

Los diagramas secuenciales representan el comportamiento de un determinado receptor o contacto eléctrico mediante un gráfico en el que quedan representados dos estados: abierto/cerrado, activo/no activo, etc.

Estos esquemas están más asociados a la automatización mediante lógica digital, pero en el caso de los temporizadores son muy útiles para entender su funcionamiento. A continuación se presentan los diagramas secuenciales asociados a los distintos tipos de temporizadores, donde t_d representa el tiempo de demora o retardo asignado al temporizador.

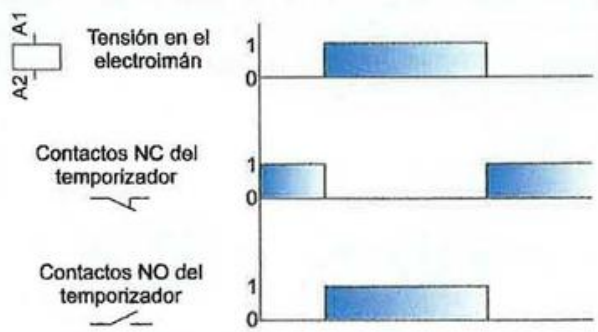


Figura 7.67. *Diagrama secuencial de un temporizador instantáneo.*

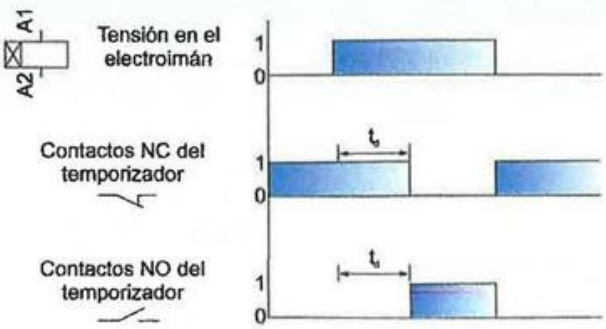


Figura 7.68. *Diagrama secuencial de un temporizador a la conexión.*

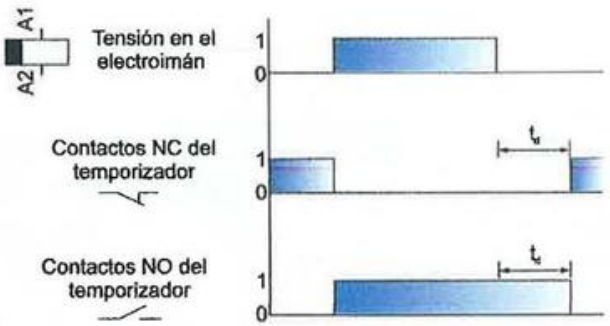


Figura 7.69. *Diagrama secuencial de un temporizador a la desconexión.*

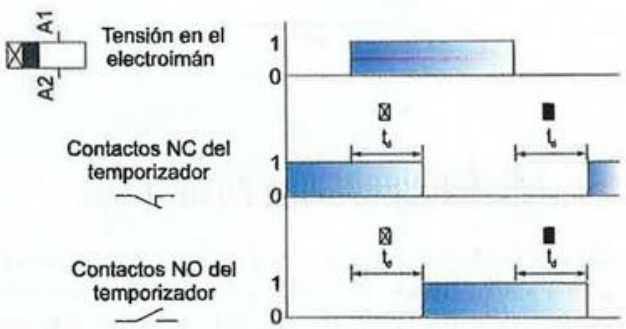


Figura 7.70. *Diagrama secuencial de un temporizador a la conexión desconexión.*

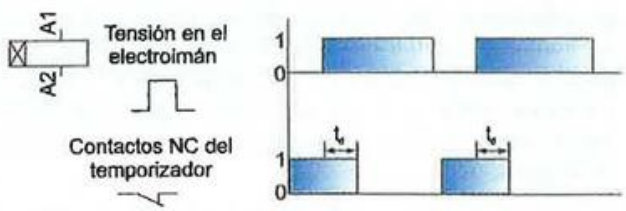
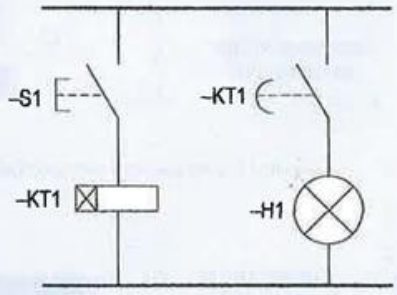


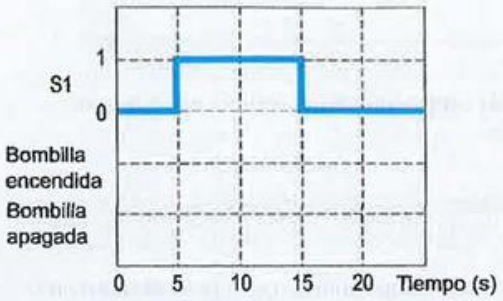
Figura 7.71. *Ejemplo de diagrama por pulsos temporizado a la conexión.*

Actividad propuesta 7.3

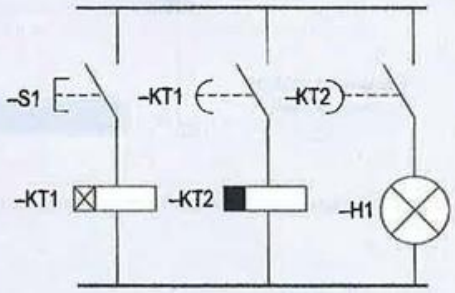
Completa los diagramas de tiempos secuenciales siguientes, indicando los instantes en los que se encienden y se apagan las lámparas en función del tiempo de ajuste de los relés temporizados.

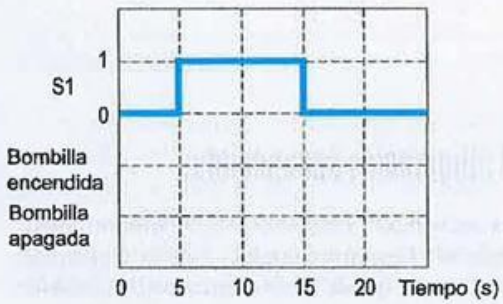
Maniobra temporizada I.
Tiempo de ajuste del electroimán: $t_d = 5$ s





Maniobra temporizada II.
Tiempo de ajuste del electroimán: $t_{d1} = 2{,}5$ s $t_{d2} = 5$ s





7.6. Automatismos domésticos

El objetivo fundamental de este libro trata sobre el estudio de los automatismos asociados a las instalaciones industriales y terciarias; sin embargo, debe ser tenido en cuenta que también resulta posible encontrar circuitos basados en automatismos industriales en entornos domésticos y edificios no industriales.

En los edificios de viviendas y oficinas, por ejemplo, las aplicaciones que requieren del uso de automatismos son tan comunes como los ascensores, montacargas, grupos de presión, sistemas de bombeo, instalaciones de protección contra incendios, sistemas de control de alumbrado, puertas eléctricas, sistemas de extracción forzada (en garajes) y un largo etcétera.

A continuación se detallan los automatismos domésticos de mayor importancia, y que en ocasiones también son utilizados en los entornos industriales. En estas circunstancias de uso, no obstante, también pueden ser considerados como dispositivos de control automático o temporizado.

7.6.1. El interruptor horario

El interruptor horario es un dispositivo denominado *de minutería* que permite conectar y desconectar cargas eléctricas en diferentes franjas horarias. Pueden ser de tipo electromecánico o digital:

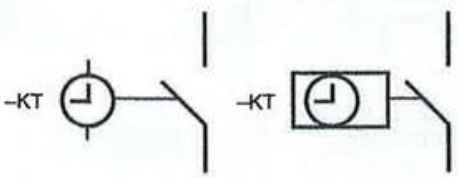


Figura 7.72. *Símbolos asociados al interruptor horario.*

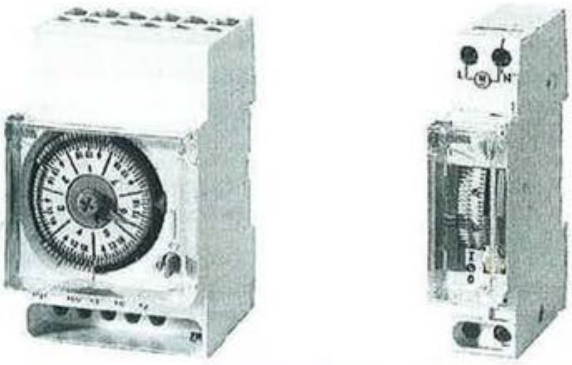


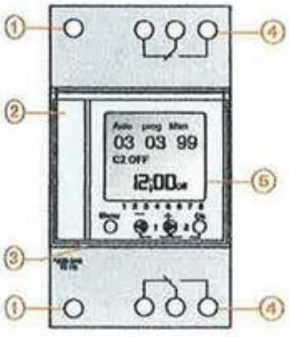
Figura 7.73. *Interruptores horarios electromecánicos para carril DIN. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 7.74. *Interruptor horario digital para carril DIN. (Cortesía de Schneider Electric.)*

Existen interruptores horarios para carril DIN, de pared y de tipo enchufe. Su programación puede realizarse, dependiendo del modelo, en horas, días, semanas e incluso años.

El modo de selección del programa horario por parte del usuario depende del modelo:

- **Interruptores horarios digitales:** se programan a través del teclado del dispositivo, siguiendo las instrucciones del fabricante.



1. Alimentación 230 V - 50 Hz.
2. Alojamiento con instrucciones.
3. Tapa giratoria empotrable.
4. Contacto de salida.
5. Pantalla retroiluminada.

Figura 7.75. *Representación de un interruptor horario digital. (Cortesía de Schneider Electric.)*

- **Interruptores horarios electromecánicos:** se programan presionando o moviendo manualmente una serie de pequeñas levas.

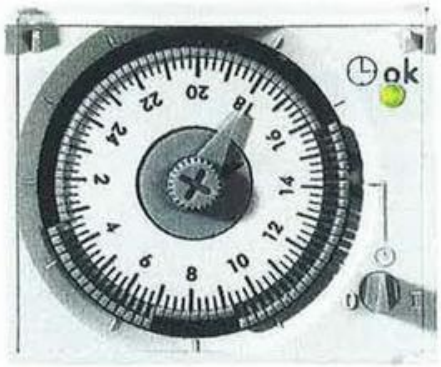


Figura 7.76. *Detalle de programación de un interruptor horario electromecánico. Las levas presionadas indican que entrará en funcionamiento de 07:00 a 09:00 y de 16:00 a 03:00.*

La precisión de los interruptores horarios varía en función del fabricante y el modelo, pero generalmente los digitales pueden programarse en segundos y los electromecánicos en espacios de tiempo de 15 o 30 minutos.

SABÍAS QUE

El interruptor horario también es conocido como *reloj eléctrico*. Es muy útil, por ejemplo, para conectar cargas en horarios de tarifa reducida.

7.6.2. El automático de escalera

El automático de escalera es un mecanismo eléctrico que se utiliza para controlar de manera temporizada el alumbrado de un edificio de varias plantas o de gran superficie.

Este dispositivo se conecta a uno o varios pulsadores, que al ser presionados envían una señal a la bobina (electroimán) interna del dispositivo y enciende las lámparas correspondientes. Pasado un tiempo predefinido por el usuario, la iluminación se desconecta de manera automática.

El tiempo de desconexión se selecciona sobre la ruleta selectora del propio dispositivo y varía según el fabricante, pero suele oscilar entre 0,5 segundos y 15 minutos.

SABÍAS QUE

El funcionamiento de un automático de escalera es muy similar al de un temporizador a la desconexión.

Figura 7.77. *Automático de escalera. (Cortesía de Siemens.)*

La conexión de un automático de escalera puede realizarse a tres o cuatro hilos, y dispone de tres modos de funcionamiento:

- **Conexión automática.** Las cargas permanecen encendidas de manera temporizada.
- **Conexión permanente.** Las cargas permanecen encendidas indefinidamente.
- **Desconexión permanente.** Las cargas permanecen apagadas indefinidamente.

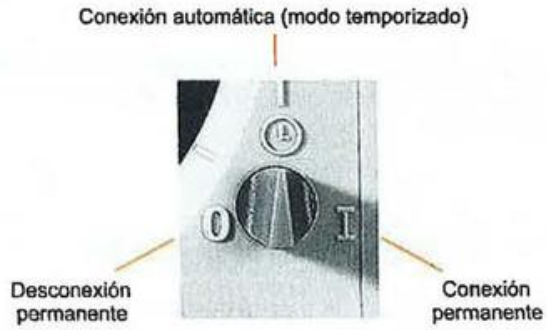


Figura 7.78. *Ruleta selectora del modo de funcionamiento.*

7.6.3. El relé y el telerruptor

Los relés y telerruptores son mecanismos eléctricos que basan su funcionamiento en una bobina interna o electroimán, que al igual que en el caso de los contactores, es controlada a distancia a través de un impulso eléctrico.

Este electroimán actúa sobre uno o varios contactos que abrirán o cerrarán el circuito eléctrico al que estén conectados.

El relé

Estos dispositivos cumplen la misma función que los contactores, pero están diseñados para el control de **circuitos eléctricos de baja potencia o baja tensión**. Son muy utilizados en circuitos de control de calefacción, aire acondicionado, iluminación, etc. También es frecuente su uso asociado a autómatas programables, tal como será estudiado en unidades posteriores.

Actualmente se fabrican múltiples tipos de relés con diferentes funciones como relés temporizados, relés de control, relés interfase, etc.

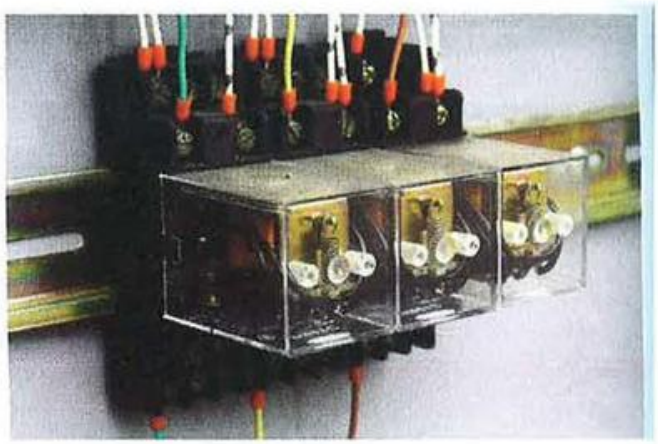


Figura 7.79. *Relés de control industrial.*

El telerruptor

El telerruptor es un mecanismo eléctrico, similar a un relé, pero utilizado generalmente para controlar puntos de luz.

Se emplea para realizar conmutaciones en circuitos de iluminación desde varios lugares a través de **pulsadores**, que envían impulsos de tensión a la bobina del telerruptor al ser accionados. Es muy común utilizar telerruptores para el control de lámparas de descarga, puesto que resisten mejor los picos de corriente en el arranque que un interruptor convencional.

Figura 7.80. *Símbolos asociados al telerruptor.*

Figura 7.81. *Telerruptor diseñado para utilizar en circuitos de hasta 16 A. (Cortesía de Siemens.)*

7.7. Representación y marcado de componentes

Tal como ha quedado reflejado a lo largo de las unidades previas, todo componente de una instalación eléctrica, ya sea un mecanismo, un elemento de maniobra, medida o protección, un receptor, un conductor o incluso un simple dispositivo de conexión, debe poder ser representado gráficamente en un plano o esquema eléctrico de manera que cualquier profesional que lo utilice, independientemente de su país de origen, sea capaz de interpretarlo de manera adecuada.

Es por este motivo que los símbolos gráficos y las referencias identificativas se encuentran estandarizadas de conformidad con normas internacionales, europeas o nacionales. El uso de estos estándares elimina todo riesgo de confusión, simplifica la representación y el estudio de las instalaciones electrotécnicas y facilita las operaciones de montaje, cableado y mantenimiento.

7.7.1. Simbología electromecánica normalizada

La serie de normas internacionales CEI 60617 definen los símbolos gráficos para esquemas eléctricos. Esta publicación ha sido traspuesta y adoptada a nivel europeo bajo la norma EN 60617 y posteriormente ha sido publicada en España como la norma UNE-EN 60617.

Los símbolos gráficos más utilizados para la realización de los esquemas y planos asociados a las instalaciones de automatismos industriales, en conformidad con las publicaciones más recientes UNE-EN, se han ido ofreciendo a lo largo de cada unidad junto a cada tipo de componente. No obstante, en el **Anexo I** de este libro, se presenta un listado completo con el objetivo de facilitar al lector la consulta de la simbología eléctrica normalizada.

7.7.2. Marcado de componentes

Existen varias normas que definen y fomentan determinadas reglas de aplicación específicas que deben ser utilizadas para marcar e identificar los bornes, terminales, conductores, aparatos y equipos eléctricos en un plano o esquema. Destacan para esta función las normas internacionales IEC 61346, IEC 1082 e IEC 60445 y sus diversas transposiciones a nivel nacional o europeo.

El referenciado de los planos y esquemas conforme a estas normas tiene un uso más generalizado en el entorno de los automatismos industriales y esquemas de maniobra, pero también debería utilizarse en los esquemas eléctricos convencionales. Este marcado se realiza dentro de un **sistema alfanumérico** que pretende facilitar la comprensión del funcionamiento de los equipos, ejecutar su cableado y facilitar las tareas de mantenimiento y resolución de averías.

RECUERDA

Un esquema eléctrico es una representación gráfica de una instalación eléctrica o parte de ella en la que quedan definidos cada uno de los componentes de la instalación. La información que aportan estos esquemas depende del tipo de esquema representado; mientras unos dan información del trazado de tubos, otros muestran el conexionado de los aparatos que intervienen en el circuito simbolizado.

Para representar correctamente un determinado equipo o material, se utilizan una o dos letras que definen:

- La primera letra: el tipo de elemento o mecanismo.
- La segunda letra, solo cuando proceda, la función que cumple dentro del esquema.

Las letras, además, van acompañadas de un número que permite diferenciar los dispositivos cuya función es similar. A continuación se muestra un ejemplo:

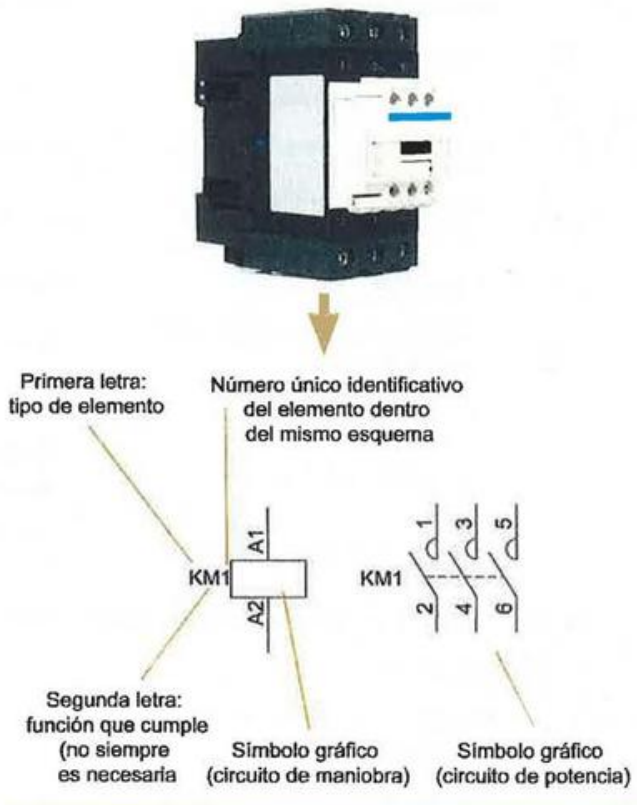


Figura 7.82. *Significado del marcado de un contactor.*

Significado específico del marcado dependiendo del tipo de equipo o material (primera letra):

Tabla 7.3. Marcado por tipo de equipo o material.

Referencia		Ejemplos de materiales
A	Conjuntos, subconjuntos funcionales	Amplificador magnético, regulador de velocidad, autómata programable
B	Transductores de una magnitud eléctrica en una magnitud eléctrica	Par termoeléctrico, detector termoeléctrico, detector fotoeléctrico, dinamómetro eléctrico, presostato, termostato, detector de proximidad
C	Condensadores	
D	Operadores binarios, dispositivos de temporización, de puesta en memoria	Operador combinatorio, línea de retardo, báscula biestable, báscula monoestable, grabador, memoria magnética
E	Materiales varios	Alumbrado, calefacción, elementos no incluidos en esta tabla
F	Dispositivos de protección	Cortocircuito fusible, limitador de sobretensión, pararrayos, relé de protección de máxima de corriente, de umbral del tensión
G	Dispositivos de alimentación	Generador, alternador, convertidor rotativo de frecuencia, batería oscilador, oscilador de cuarzo
H	Dispositivos de señalización	Piloto luminoso, avisador acústico
K	Relés de automatismo y contactores	KA y KM en los equipos importantes
KA	Relés y contactores auxiliares	Contactor auxiliar temporizado, todo tipo de relés de automatismo
KM	Contactores de potencia	
L	Inductancias	Bobina de inducción, bobina de bloqueo
M	Motores	
N	Subconjuntos (no de serie)	
P	Instrumentos de medida y de prueba	Aparato indicador, aparato grabador, contador, conmutador horario
Q	Aparatos mecánicos de conexión para circuitos de potencia	Disyuntor, seccionador
R	Resistencias	Resistencia regulable, potenciómetro, reostato, *shunt*, termistancia
S	Aparatos mecánicos de conexión para circuitos de control	Auxiliar manual de control, pulsador, interruptor de posición, conmutador
T	Transformadores	Transformador de tensión, transformador de corriente
U	Moduladores, convertidores	Discriminador, demodulador, convertidor de frecuencia, codificador, convertidor-rectificador, ondulador autónomo
V	Tubos electrónicos, semiconductores	Tubo de vacío, tubo de gas, tubo de descarga, lámpara de descarga, diodo, transistor, tiristor, rectificador
W	Vías de transmisión, guías de ondas, antenas	Tirante (conductor de reenvío), cable, juego de barras
X	Bornas, clavijas, zócalos	Clavija y toma de conexión, clips, clavija de prueba, tablilla de bornas, salida de soldadura
Y	Aparatos mecánicos accionados eléctricamente	Freno, embrague, electroválvula neumática, electroimán
Z	Cargas correctivas, transformadores diferenciales, filtros correctores, limitadores	Equilibrador, corrector, filtro

Significado específico del marcado dependiendo de la función (segunda letra):

Tabla 7.4. Marcado indicativo de función.

Letra	Tipo de función	Letra	Tipo de función	Letra	Tipo de función
A	Función auxiliar	J	Integración	S	Memorizar, registrar, grabar
B	Dirección de movimiento	K	Servicio pulsante	T	Medida de tiempo, retardar
C	Contar	L	Designación de conductores	V	Velocidad (acelerar, frenar)
D	Diferenciar	M	Función principal	W	Sumar
E	Función "conectar"	N	Medida	X	Multiplicar
F	Protección	P	Proporcional	Y	Analógica
G	Prueba	Q	Estado (marcha, parada, imitación)	Z	Digital
H	Señalización	R	Reposición, borrar		

Marcado específico para lámparas dependiendo de su color y el tipo de tecnología utilizada en la iluminación:

Tabla 7.5. Marcado de lámparas y pilotos luminosos.

Por color	
Rojo	RD o C2
Naranja	OG o C3
Amarillo	YE o C4
Verde	GN o C5
Azul	BU o C6
Blanco	WH o C9
Por tipo	
Neón	Ne
Vapor de sodio	Na
Mercurio	Hg
Yodo	I
Electroluminescente	EL
Fluorescente	FL
Infrarrojo	IR
Ultravioleta	UV

Significado de los colores de pulsadores y pilotos de señalización:

Tabla 7.6. Colores para botones pulsadores.

Color	Servicio	Utilización
Rojo	Parada	Parada general del ciclo o maniobra. Parada de emergencia. Desconexión por exceso de temperatura. Desenclavamiento de relés protectores.
Verde o Negro	Marcha	Arranque de un ciclo o maniobra.
Amarillo	Vuelta atrás	Retroceso de la maniobra. Anulación de la maniobra anteriormente seleccionada.
Blanco o Azul claro	Para funciones que no se comprenden en los otros colores	

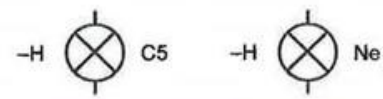


Figura 7.83. *Ejemplo de marcado de lámparas por color y tipo.*

Tabla 7.7. Color de pulsadores luminosos.

Color	Servicio
Rojo	No utilizar.
Amarillo	Atención o precaución.
Verde	Permiso de arranque por centelleo del pulsador.
Blanco	Confirmación de que el circuito se encuentra en tensión y de que ha sido seleccionada o preseleccionada una función o movimiento.
Azul	Indica otras funciones que no se comprenden en los otros colores.

Tabla 7.8. Color de lámparas de señalización.

Color	Servicio	Utilización
Rojo	En reposo	Señala que la máquina se ha parado por anomalía eléctrica, o bien evita que al automatismo se le dé la orden de paro.
Amarillo (ámbar)	Atención o precaución	Señal para ciclo automático. Próximo al valor límite admisible.
Verde	Máquina preparada para entrar en servicio	Todos los componentes dispuestos para iniciar el arranque o maniobra.
Blanco	Circuitos eléctricos bajo tensión normal de servicio	Máquina dispuesta para entrar en servicio.
Azul	Para funciones que no se comprenden en los otros colores	

7.7.3. Referenciado de bornes y terminales

El referenciado alfanumérico de los **bornes de conexión y terminales** de los diferentes dispositivos eléctricos se realiza en base a la función que cumple el elemento (principal o auxiliar) o de su posición en estado de reposo:

- Los **contactos principales** se designan con una sola cifra, de 1 hasta 10 de manera alternativa en función del número de polos. Cuando sea preciso, el número correspondiente podrá ser sustituido por la letra N (conductor neutro).

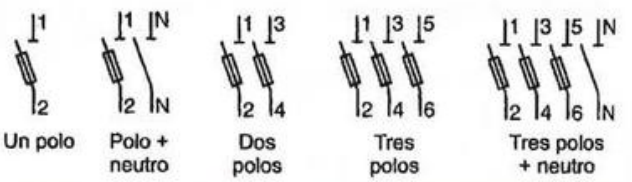


Figura 7.84. *Ejemplos de marcado de contactos principales para un conjunto seccionador-fusible.*

- Los **contactos auxiliares** se designan con dos cifras, dependiendo de su estado en reposo y de la función que cumplen, siendo los mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 7.9. Marcado de bornes en contactos auxiliares.

Tipo de contacto	Estado en reposo	Designación	
		Primera cifra	Segunda cifra
Instantáneo	NC	Número correlativo (de 1 a 8) que indica el orden del contacto en el dispositivo al que estén asociados	1-2
	NO		3-4
Temporizado	NC		5-6
	NO		7-8
Perteneciente a un relé térmico	NC	9	5-6
	NO		7-8

- Los **bornes propios de los componentes estáticos del circuito de maniobra** se designan de manera independiente atendiendo a su función. Los más utilizados son A1-A2 para electroimanes o bobinas.

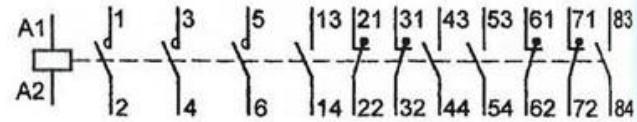


Figura 7.85. *Ejemplo de marcado de bornes pertenecientes a un mismo contactor.*

- Los **bornes propios de los motores** se marcan según la letra asociada al mismo en función de su configuración interna, tal como fueron indicados en la Unidad 6.
- Los bornes correspondientes a **los regleteros y borneros de entrada y salida del cuadro**, cuando proceda, se marcarán con la letra **X** acompañada de un número identificativo. Pueden agruparse en un mismo código de regletero los bornes que cumplan una misma función (alumbrado, fuerza), los bornes correspondientes a las entradas o salidas, etcétera.

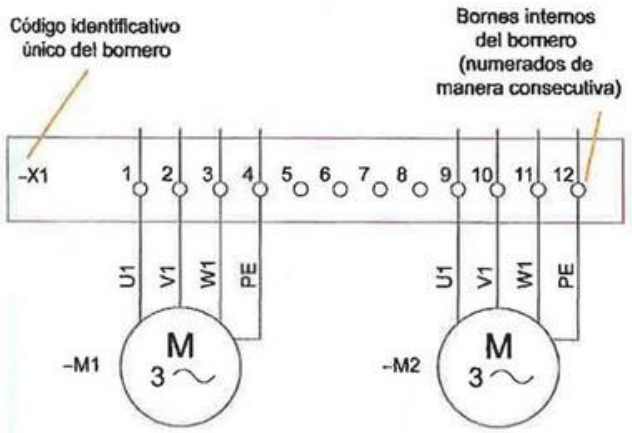


Figura 7.86. *Ejemplo de designación de un regletero.*

Respecto al método de representación, cabe destacar que la escritura y referenciado debe poder ser leída desde los bordes inferior y/o derecho del esquema correspondiente, con dos orientaciones separadas por un ángulo de 90°, tal como se muestra en los siguientes ejemplos:

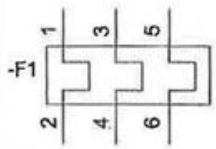


Figura 7.87. *Representación vertical de un relé térmico.*

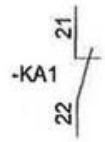


Figura 7.88. *Representación vertical de un contacto auxiliar.*

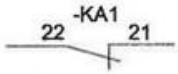


Figura 7.89. *Representación horizontal de un contacto auxiliar.*

7.7.4. Referenciado de conductores y mangueras

En ocasiones resulta necesario que todos los conductores de un esquema de automatismos queden debidamente identificados mediante un **código numérico**.

Esta práctica suele estar asociada a los proyectos más complejos cuyos circuitos se representan en varias páginas con planos muy extensos.

En la actualidad existen dos métodos distintos para llevar a cabo esta tarea:

- **Referenciado de conductores por potencial:** todos los conductores que se localizan en un mismo punto de conexión (mismo potencial) se identifican con el mismo número.
- **Referenciado único de conductores:** cada uno de los conductores se identifica con un número único. Dicha numeración se realiza de manera consecutiva empezando desde la parte superior izquierda del esquema.

  Este es un método de marcado más complejo que el anterior, puesto que en los conductores que se encuentran al mismo potencial unidos mediante un nodo se escriben todos los números de los conductores que se unen, separados por comas.

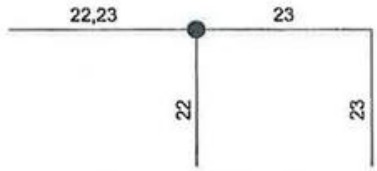


Figura 7.90. *Ejemplo de referenciado único de conductores.*

En los esquemas de instalaciones de automatismos industriales de varias páginas es recomendable, además de realizar el referenciado de los conductores, indicar en qué número de plano o página se encuentran. Este segundo número se ubica delante de la referencia identificativa del propio conductor, separando ambos números por un punto.

RECUERDA

Los cables de alimentación de la red eléctrica siempre se identifican como L1, L2, L3, N y PE respectivamente.

En lo que respecta a las **mangueras eléctricas**, aunque no es una práctica muy habitual, pueden también ser identificadas en los esquemas de automatismos mediante una línea oblicua representada sobre los conductores que se encuentran en ella. Dicha línea se marcará con la letra **W**.

Figura 7.91. *Ejemplo de referenciado de mangueras.*

7.7.4. Representación avanzada de esquemas de automatismos

En los grandes proyectos electrotécnicos de automatismos industriales en los que se hace necesario representar las instalaciones en varios esquemas incluidos en diferentes planos, resulta imprescindible añadir una serie de codificaciones numéricas asociadas a determinados dispositivos con el objetivo de que a la persona que debe interpretar el plano le resulte fácil su comprensión y pueda localizar todos los elementos de manera rápida y eficaz.

En estos casos, es frecuente que los esquemas de fuerza y maniobra asociados hayan sido representados en distintos planos, o que un mismo contactor o temporizador tenga sus contactos auxiliares distribuidos por varios planos.

Bajo estas circunstancias, existen varios métodos de marcado avanzado de componentes, que se resumen a continuación:

Identificador auxiliar del número de plano o página

Consiste en añadir un segundo número delante del elemento representado, que hace referencia al número de plano o página donde se encuentra su dispositivo asociado. La omisión de este número identificador es frecuente representarla mediante un guion (-), para evitar confusiones. A continuación, en las Figuras 7.92, 7.93 y 7.94 se muestran varios ejemplos:

Figura 7.92. *El contactor asociado al electroimán se representa en la página o plano número 7.*

Figura 7.93. *El relé térmico asociado al contacto NC se encuentra en la página o plano número 12.*

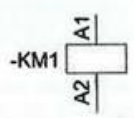


Figura 7.94. *Omisión de identificador auxiliar, por no resultar necesario.*

Referencias cruzadas

Consiste en distribuir cada uno de los planos en varias columnas y filas, facilitando la localización de los componentes incluidos en ellas. Además, pueden aprovecharse las columnas para indicar la función que cumple cada rama del esquema.

En estas circunstancias es posible indicar con precisión la posición de distintitos elementos del esquema, utilizando dos métodos:

- **Referencias cruzadas directas:** están asociadas a un electroimán (generalmente del contactor o de un temporizador), siendo ubicadas debajo de este. Indican la posición de los contactos auxiliares (NO y NC) asociados a este por número de página o plano y columna/fila, siguiendo el esquema ***plano.columna.fila*** o ***plano.fila.columna***

  Pueden expresarse en forma de tabla o de manera gráfica. En algunos casos también pueden indicar la posición de los contactos de potencia del contactor.

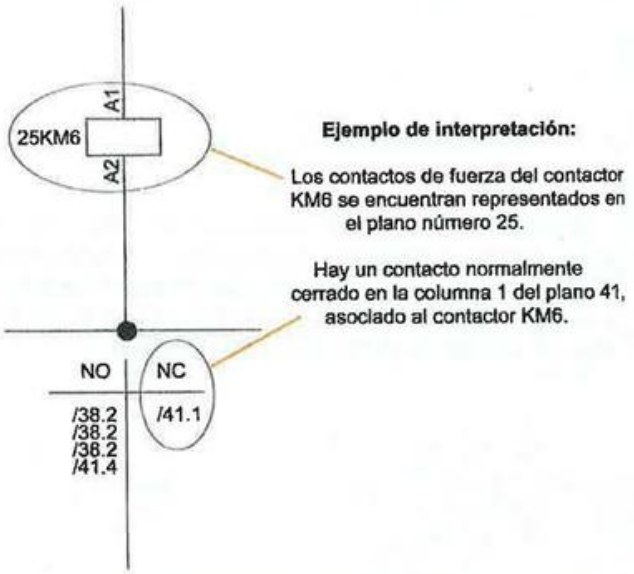


Figura 7.95. *Ejemplo de referencias cruzadas directas en formato tabla, por plano y columna.*

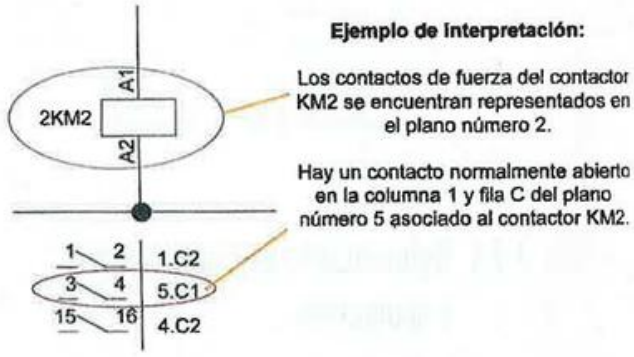


Figura 7.96. *Ejemplo de referencias cruzadas directas en formato gráfico, por plano, columna y fila.*

- **Referencias cruzadas inversas:** las referencias cruzadas inversas permiten la localización del componente (generalmente un electroimán) que hace accionarse a un determinado contacto, y en consecuencia, a su tabla de referencias cruzadas directas.

Su interpretación y representación es similar a las referencias cruzadas directas, pero en este caso el código se ubica junto al propio contacto.

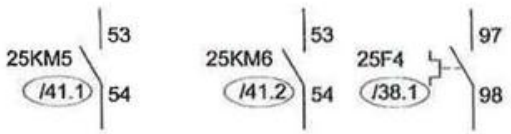


Figura 7.97. *Ejemplo de referencias cruzadas inversas.*

Las referencias cruzadas directas o inversas, así como la división del plano del esquema por columnas y filas, son métodos necesarios para la interpretación y localización de los elementos presentes en los esquemas más complejos, sirviendo de gran ayuda para el instalador o mantenedor de las instalaciones.

A continuación se muestra el esquema correspondiente a una parte del proyecto de una instalación de automatismos industriales de gran envergadura, donde pueden apreciarse los identificadores y referencias de los diversos elementos, así como la distribución del plano en forma de columnas.

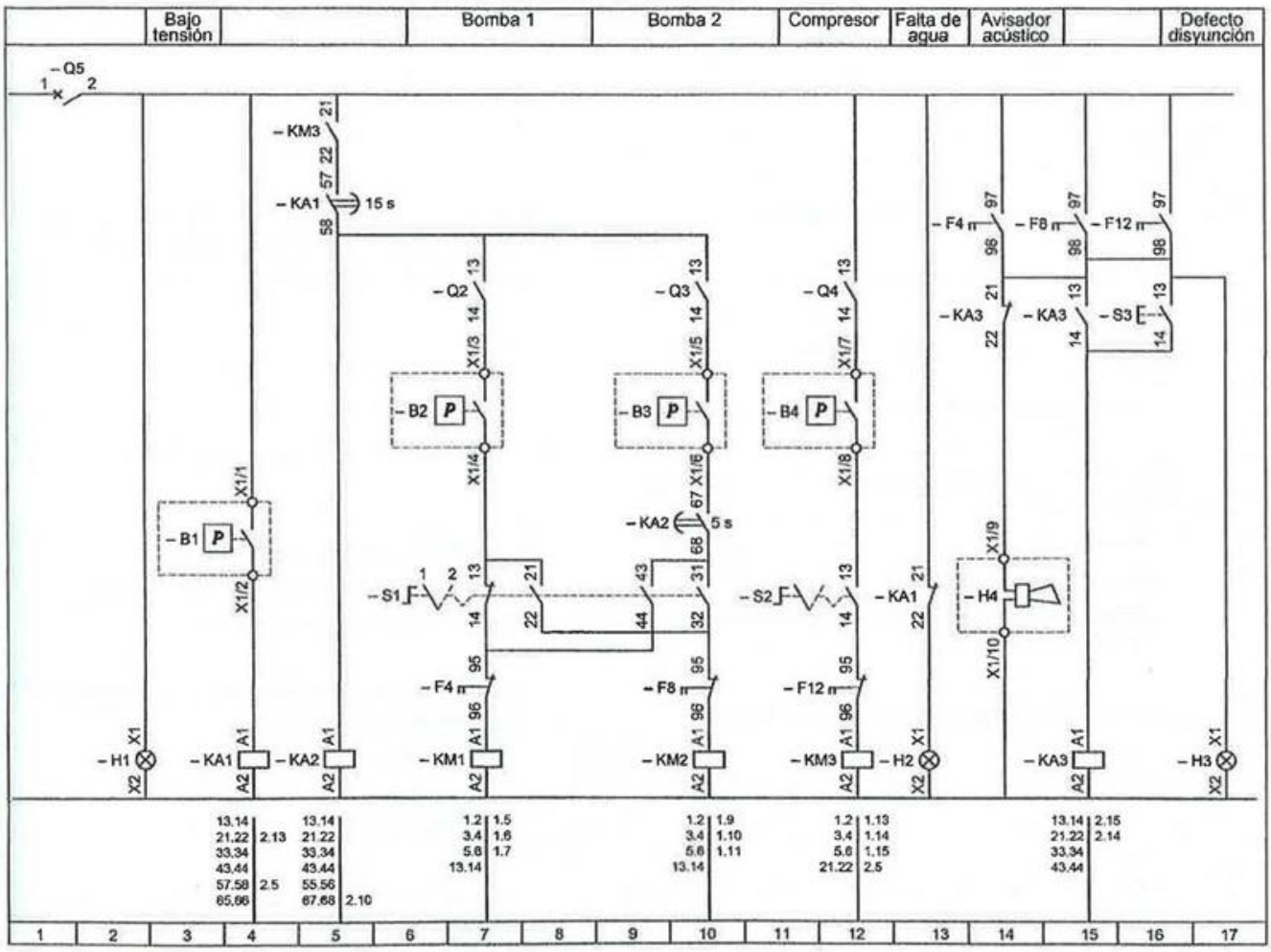


Figura 7.98. *Esquema de maniobra completo de una instalación de automatismos industriales.*

Actividades de comprobación

7.1. ¿Qué parte de un contactor tiene la función de conmutar los circuitos de fuerza?

a) El electroimán.
b) Los contactos principales.
c) Los contactos auxiliares.

7.2. En lo que respecta al marcado de contactos auxiliares en esquemas eléctricos, ¿cómo se referencian los contactos instantáneos normalmente abiertos?

a) x1 y x2.
b) x3 y x4.
c) x5 y x6.

7.3. Un relé temporizado a la conexión hace conmutar sus contactos:

a) Un tiempo después de conectarse su elemento de mando.
b) Un tiempo después de desconectarse su elemento de mando.
c) Depende de cómo sea programado.

7.4. ¿Qué cifras deben utilizarse para designar a un contacto NC?

a) n1 y n2.
b) n3 y n4.
c) Depende si es temporizado, instantáneo o pertenece a un relé térmico.

7.5. ¿Mediante qué letra se identifica a un pulsador?

a) P.
b) F.
c) S.

7.6. ¿Qué ocurre si en un circuito de maniobra se utiliza la denominada realimentación?

a) El circuito únicamente podrá ejecutar sus funciones mediante pulsos.
b) Se anula el pulsador de marcha una vez ha sido accionado.
c) Los enclavamientos eléctricos del circuito quedan anulados.

7.7. Si tenemos un circuito de maniobra con dos puestos de mando, ¿cómo deben colocarse los pulsadores de parada?

a) En paralelo.
b) En serie.
c) Es indiferente.

7.8. Los dispositivos de control automático que se caracterizan porque reaccionan ante una fuerza o presión externa sobre un cabezal se denominan:

a) Detectores de cabezal.
b) Detectores capacitivos.
c) Interruptores final de carrera.

7.9. Si en un detector de proximidad la carga se conecta a tres hilos entre el elemento sensor y un conductor con polaridad negativa, la salida será de tipo:

a) NPN.
b) PNP.
c) PNN.

7.10. ¿Qué significado genérico tiene el símbolo de la figura?

a) Protección térmica o relé térmico.
b) Funcionamiento por pulsos o intermitente.
c) Ninguna respuesta es correcta.

7.11. Un componente marcado con una segunda letra M, implica que cumple una función:

a) De medida.
b) Principal.
c) De protección.

7.12. ¿Dónde se ubican las referencias cruzadas inversas de un contacto auxiliar?

a) En el esquema de maniobra debajo del electroimán del contactor.
b) En el esquema de maniobra debajo del propio contacto auxiliar.
c) En el esquema de maniobra dentro del electroimán del contactor.

Actividades de aplicación

7.1. ¿Qué ocurre si en un circuito con realimentación se acciona de manera accidental el pulsador de marcha dos veces?

7.2. Explica de manera detallada en qué consiste un temporizador con demora a la conexión-desconexión.

7.3. ¿Qué diferencias existen entre un interruptor y un conmutador de dos posiciones? ¿Y entre un interruptor y un pulsador?

7.4. Detalla y representa gráficamente cómo deben colocarse los pulsadores de paro y los pulsadores de marcha de un circuito de maniobra en instalaciones con varios puestos de mando.

7.5. ¿En qué consiste el enclavamiento eléctrico? ¿Cómo se consigue? Piensa dos ejemplos de aplicaciones industriales en las que pueda ser necesario utilizar dicho método de enclavamiento.

7.6. Enumera tres sensores de proximidad que conozcas, definiendo brevemente sus principales características.

7.7. Explica brevemente en qué consisten las referencias cruzadas y las referencias cruzadas inversas.

7.8. Explica las diferencias de conexionado entre las salidas PNP y NPN de los detectores a tres hilos.

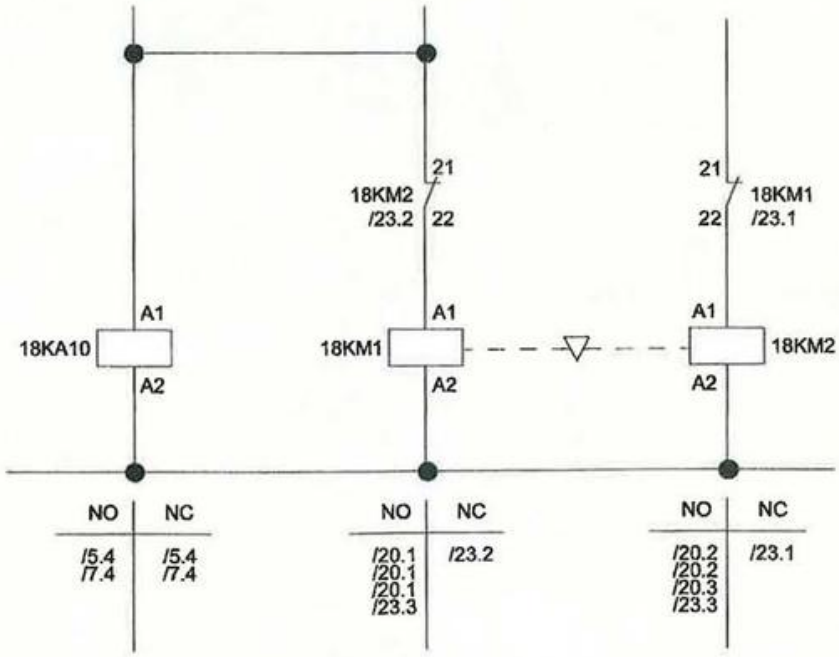
7.9. Durante la conexión automática de un automático de escalera, las cargas permanecen encendidas de manera temporizada. Conociendo este modo de funcionamiento, relaciona este dispositivo con un tipo de temporizador de los estudiados en la unidad, justificando detalladamente la respuesta.

7.10. Selecciona para un proceso industrial, un sensor de temperatura y otro de presión de tal manera que cumplan los siguientes requisitos:

- La industria es del sector de la alimentación.
- La temperatura oscila en condiciones normales entre 5 y 100 °C.
- La presión máxima es de 10 bar.
- Se desea que ambos sensores tengan salidas digitales y analógicas (4-20 mA).

Apóyate en catálogos o en la web de fabricantes de sensores.

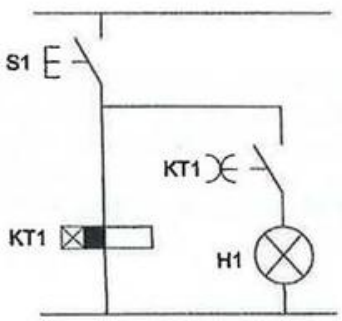
7.11. Dado el siguiente extracto de un plano correspondiente al circuito de maniobra del proyecto de un automatismo industrial, identifica cada uno de los elementos representados y especifica brevemente el significado de los códigos alfanuméricos presentes en el mismo:



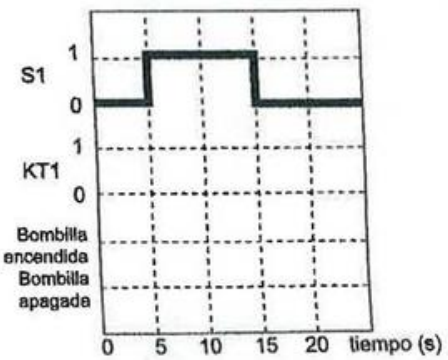
Casos prácticos

7.1. Observa la siguiente figura e indica el horario para el que ha sido programado el funcionamiento del dispositivo.

7.2. Completa el siguiente diagrama de tiempos secuenciales.

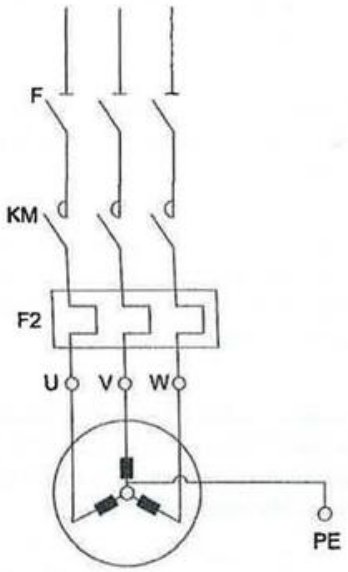


Tiempo de ajuste del electroimán: KT1 = 5 s

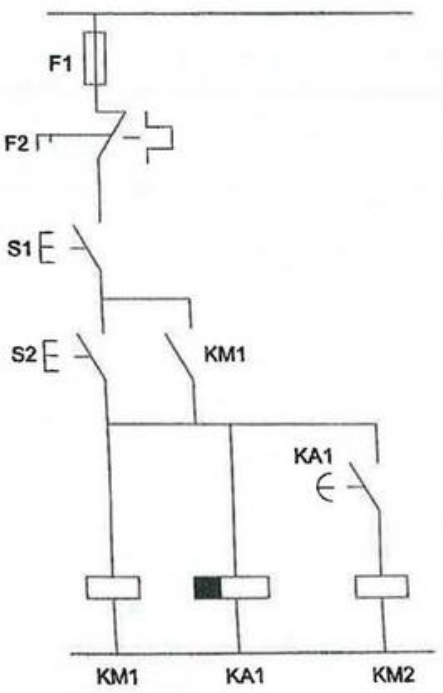


7.3. Detecta los posibles errores gráficos, de marcado o de funcionamiento en cada uno de los siguientes esquemas de potencia y maniobra. (Nota: Los esquemas no guardan relación entre sí.)

a)



b)



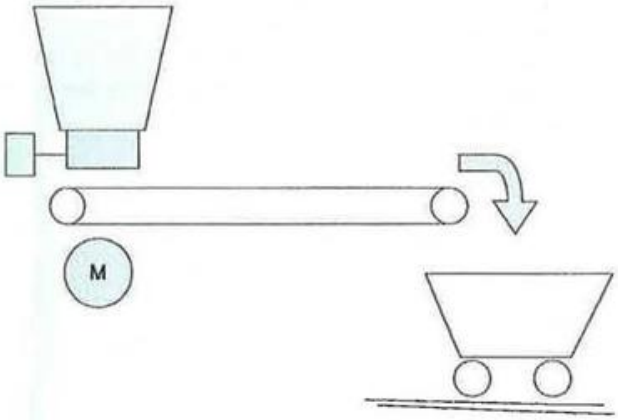
7.4. Realiza el esquema de potencia y maniobra que controla el automatismo eléctrico de la depuradora de agua de una piscina. Dicha depuradora funciona mediante un motor trifásico en jaula de ardilla de conexión directa, y el circuito de mando estará gobernado por un interruptor conmutador de tres posiciones configurado de la siguiente manera:

I – Marcha manual

0 – Paro/desconexión

II – Marcha automática, a través de un interruptor horario

7.5. Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado al movimiento de la cinta transportadora que se representa en la siguiente figura:



Explicación del funcionamiento:

El sistema cuenta con un único pulsador de marcha y con un pulsador de paro de emergencia.

Al activar el pulsador de marcha, se activará el motor monofásico que mueve la cinta transportadora, por la cual discurre el material que pasa a través de la tolva, llegando hasta la carretilla. La cinta transportadora continuará su movimiento de manera permanente hasta que se vuelva a accionar el pulsador de marcha. Es decir, al realizar el automatismo hay que tener en cuenta que solo se utilizarán dos pulsadores de control manual:

S1 – Pulsador de marcha. Con cada nueva pulsación activa y desactiva el movimiento del motor.

S2 – Pulsador de paro de emergencia, solo será accionado en caso de que suceda algún imprevisto.

7.6. Realiza el esquema de potencia y maniobra para un equipo móvil que se pone en marcha cuando se acciona un pulsador (S2) y al llegar al final de su recorrido es detectado por un final de carrera (S4) el cual invierte su sentido de movimiento hasta llegar al principio, parando por medio de otro final de carrera (S3).

El proceso debe poder pararse en cualquier momento mediante un pulsador de paro (S1).

Se debe señalizar el sentido de giro del motor (H1 y H2) y cuando se detenga automáticamente por avería (H3).

Nota: para conocer el método de inversión de giro de un motor puedes consultar la Unidad 8 de este libro.

7.7. Al sistema de ejercicio anterior, realiza las modificaciones necesarias para que al llegar al final del recorrido realice una pausa de 30 segundos antes de invertir el movimiento.

7.8. Una maquina (M1 trifásico) se mueve entre dos posiciones de manera indefinida. Su funcionamiento es el siguiente:

- Al activar la marcha (S2) se mueve hasta que llega al final de la posición 2, donde es detectada mediante un sensor inductivo (B2).
- En ese momento, realiza una pausa de 5 segundos e invierte el giro de manera automática hasta que llega al principio (posición 1) siendo detectado por otro sensor (B1).
- Tras esto vuelve a realizar otra pausa de 5 segundos y vuelve a invertir el giro repitiendo el proceso.
- Así permanece hasta que se pulsa paro (S1).

Realiza el esquema de potencia y el esquema de maniobra asociado a la máquina descrita. Los sensores son de proximidad inductivos a 3 hilos PNP. El circuito de mando se alimenta a 24 V_{CC}.

Nota: para conocer el método de inversión de giro de un motor puedes consultar la Unidad 8 de este libro.

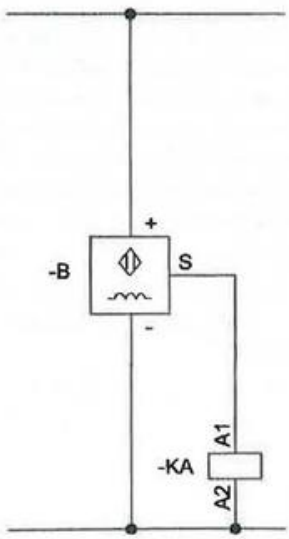


Figura 7.99. *Detalle de conexión del sensor inductivo PNP.*

7.9. Un depósito de líquido se abastece a través de una bomba (M1 trifásico) de manera automática cuando el nivel llega al mínimo (B1) y se llena hasta alcanzar el máximo fijado (B2). Los sensores empleados son de tipo capacitivo con conexión a 3 hilos PNP. El equipo cuenta con señalización de bomba en marcha. El circuito de mando se alimenta a 24 V_{CC}.

Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado al sistema, teniendo en cuenta que los sensores estarán activados cuando detectan el líquido.

7.10. Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado a una escalera mecánica (M1 trifásico), que cuenta con dos barreras fotoeléctricas a ambos extremos. Cuando detecta la entrada de una persona (B1) la pone en marcha y al salir (B2) transcurridos 5 segundos, el automatismo la para como medida de ahorro energético. El circuito cuenta con un paro de emergencia (S1).

7.11. Un automatismo industrial está compuesto por dos cintas transportadoras (M1 y M2, motores trifásicos). El funcionamiento del sistema es el siguiente:

- La primera cinta se pondrá en funcionamiento cuando se pulse marcha (S2) y un sensor inductivo (B1) detecte la pieza.
- Cuando dicha pieza llega al final de la cinta es detectada por otro sensor (B2), que activa la segunda cinta (M2) y para la primera.
- Al llegar al final de la segunda cinta es detectada por otro sensor (B3) que para la segunda cinta.

Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado al sistema. Los sensores son de tipo óptico de conexión a 3 hilos PNP.

7.12. Una máquina de procesado se alimenta de materia prima mediante una cinta transportadora (M1 trifásico) de manera continua. La cinta se pone en marcha de manera manual (S1 paro y S2 marcha). A los 5 segundos de ponerse en marcha, un sensor de ultrasonidos (B1) chequea que la cinta contenga material. Si no hay material sobre la cinta, esta se para y proporciona un aviso luminoso (H1).

Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado a la máquina. Añade, además, señalización del estado del sensor (H2).

7.13. La salida de vehículos de un garaje está automatizada de tal manera que cuando un sensor de infrarrojos (B1) detecta un vehículo activa la apertura de una puerta (motor trifásico). La puerta tiene dos finales de carrera en ambos extremos (S2, se activará cuando la puerta esté abierta y S3 cuando esté cerrada). Una vez la puerta está abierta, permanecerá así durante 30 segundos y luego se cerrará. Además, tiene otro sensor de infrarrojos (B2) a la altura de la puerta que si se detecta algún objeto procede a abrir la puerta.

Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado al automatismo descrito, añadiendo un pulsador de paro de emergencia (S1).

Nota: para conocer el método de inversión de giro de un motor puedes consultar la Unidad 8 de este libro.

7.14. En un proceso industrial, la presión está controlada por un presostato (B1) el cual activa una bomba trifásica. También se puede activar la bomba desde un pulsador (S2). El paro se realiza siempre de modo manual mediante un pulsador (S1).

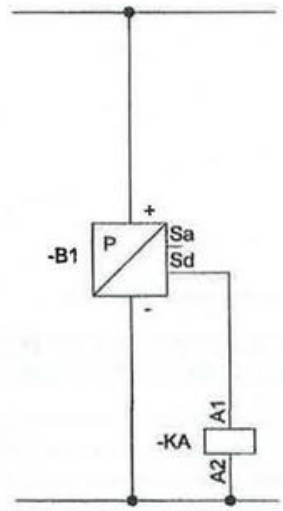
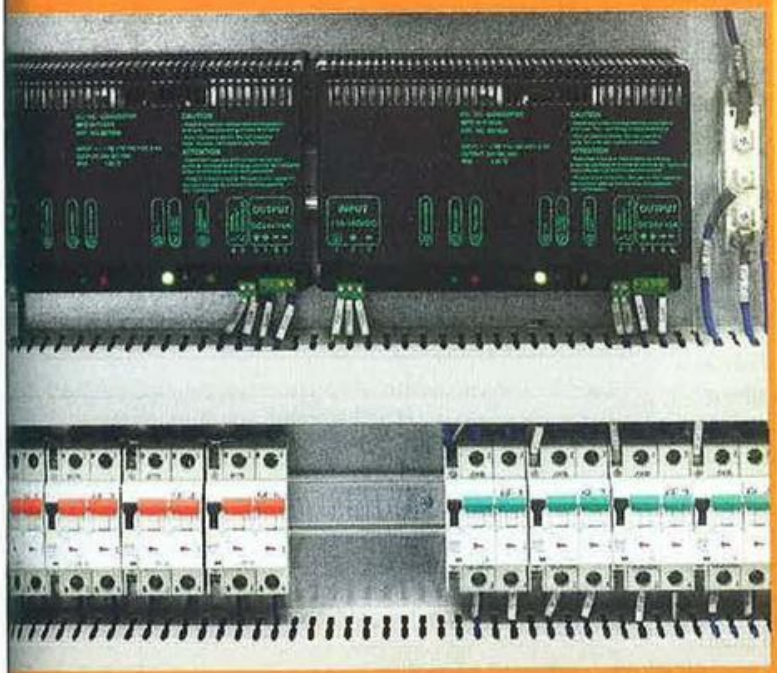


Figura 7.100. *Detalle de conexión del presostato.*

Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado al proceso, teniendo en cuenta que el circuito eléctrico debe contar con señalización del estado de la bomba y de sobrecarga.

Automatismos para el arranque, control y protección de motores

8



Los criterios técnicos para la instalación de motores eléctricos pasan por conocer y saber conectar y configurar los equipos, componentes y sistemas que, tanto en lógica cableada como mediante dispositivos electrónicos, permitirán proteger, arrancar, controlar, invertir el giro, variar la velocidad y realizar el frenado de estas máquinas rotativas.

En esta unidad serán analizados los diferentes automatismos cableados y electrónicos relacionados con los motores eléctricos, al tratarse de los receptores por excelencia de las instalaciones industriales.

Contenidos

- 8.1. Protección de motores eléctricos
- 8.2. Arranque de motores eléctricos
- 8.3. Inversión de giro en motores eléctricos
- 8.4. Sistemas de variación de velocidad en motores de corriente alterna
- 8.5. Frenado de motores eléctricos
- 8.6. Compensación automática del factor de potencia

Objetivos

- Dar a conocer los sistemas específicos para la protección de motores.
- Interpretar y analizar los automatismos para el arranque de motores.
- Identificar los métodos para la inversión de giro.
- Introducir al alumno en los sistemas de variación y regulación de velocidad en motores.
- Definir los tipos de frenado de máquinas eléctricas rotativas.

8.1. Protección de motores eléctricos

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece, en la ITC-BT-47, las condiciones generales de instalación y protecciones mínimas que deben acompañar a los motores eléctricos durante su funcionamiento. Estas son:

- Protección contra sobreintensidades.
- Protección contra la falta de tensión.
- Limitación de las corrientes de arranque.

Protección contra sobreintensidades

Los motores deben estar protegidos contra **cortocircuitos** y contra **sobrecargas** en todas sus fases, debiendo esta última protección ser de tal naturaleza que cubra, en los motores trifásicos, el riesgo de la **falta de tensión** en una de sus fases.

En el caso de motores con arrancador estrella-triángulo, se asegurará la protección, tanto para la conexión en estrella como en triángulo. Las características de los dispositivos de protección deben estar de acuerdo con las de los motores a proteger y con las condiciones de servicio previstas para estos, debiendo seguirse las indicaciones dadas por el fabricante de los mismos.

Protección contra la falta de tensión

Los motores deben estar protegidos contra la falta de tensión por un dispositivo de corte automático de la alimentación, cuando el **arranque espontáneo del motor**, como consecuencia del restablecimiento de la tensión, pueda provocar accidentes o perjudicar el propio motor.

Dicho dispositivo puede formar parte del de protección contra las sobrecargas o del de arranque, y puede proteger a más de un motor si se da una de las circunstancias siguientes:

- Los motores a proteger están instalados en un mismo local y la suma de potencias absorbidas no es superior a 10 kW.
- Los motores a proteger están instalados en un mismo local y cada uno de ellos queda automáticamente en el estado inicial de arranque después de una falta de tensión.

Cuando el motor arranque automáticamente en condiciones preestablecidas, no se exigirá el dispositivo de protección contra la falta de tensión, pero debe quedar excluida la posibilidad de un accidente en caso de arranque espontáneo.

Si el motor tuviera que llevar dispositivos limitadores de la potencia absorbida en el arranque, es obligatorio, para quedar incluidos en la anterior excepción, que los dispositivos de arranque vuelvan automáticamente a la posición inicial al originarse una falta de tensión y parada del motor.

Limitación de las corrientes de arranque

Los motores deben tener limitada la intensidad absorbida en el arranque, cuando se pudieran producir efectos que perjudicasen a la instalación u ocasionasen perturbaciones inaceptables al funcionamiento de otros receptores o instalaciones.

Cuando los motores vayan a ser alimentados por una red de distribución pública, se necesitará la conformidad de la empresa distribuidora respecto a la utilización de los mismos, cuando se trate de:

- Motores de gran inercia.
- Motores de arranque lento en carga.
- Motores de arranque o aumentos de carga repetida o frecuente.
- Motores para frenado.
- Motores con inversión de marcha.

En general, los motores de potencia superior a 0,75 kW deben estar provistos de **dispositivos que limiten la intensidad** absorbida durante el arranque.

Actividad propuesta 8.1

Enumera los dispositivos eléctricos que conoces para proteger a un motor eléctrico frente a sobreintensidades de tipo:

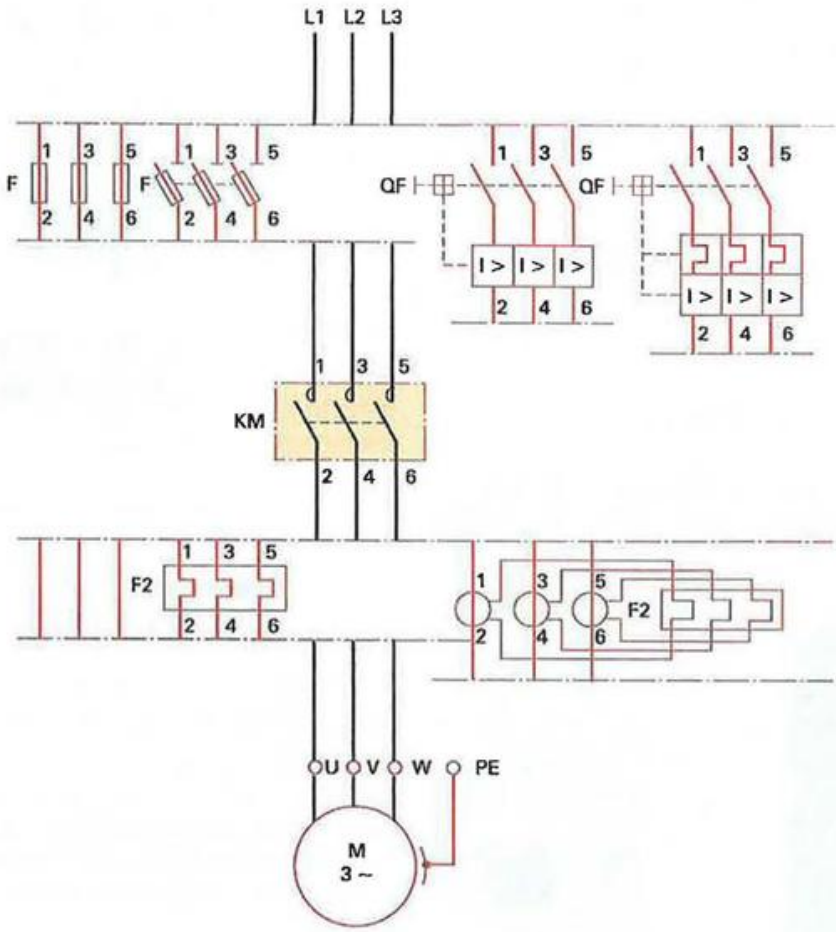
a) Térmico (sobrecargas).

b) Magnético (cortocircuitos).

¿Dónde deben instalarse cada una de estas protecciones dentro del circuito?

En la Unidad 2 fueron analizados los principales dispositivos y equipos de protección asociados a las instalaciones eléctricas industriales. De entre todos estos dispositivos deben seleccionarse los que por sí mismos, o en combinación con otros, son capaces de proporcionar el nivel de protección exigido por el reglamento para la alimentación a motores. Las posibles combinaciones de elementos de protección en los esquemas de fuerza de automatismos industriales se muestran en el Plano 001.

Cabe destacar que existen sistemas y mecanismos para la protección específica de los motores eléctricos, que conviene que sean estudiados con mayor detalle, como por ejemplo, las sondas de temperatura interna, guardamotores o relés de protección integral.



Autores: Julián Rodríguez Fernández, Roberto Bezos Sánchez-Horneros		Número de plano 001	Hoja 1/1
Rev. 1.0	Descripción del plano		
Ud. 08	Posibles combinaciones de aparamenta para la protección de motores		
Escala N/A			

8.1.1. El guardamotor

El guardamotor es un dispositivo de protección específicamente diseñado para la protección de motores eléctricos.

Su funcionamiento es similar al de un interruptor automático magnetotérmico, de hecho el símbolo gráfico que identifica a ambos es el mismo, pero presenta una serie de ventajas con respecto a este que lo convierten en el equipo por excelencia para la protección de motores trifásicos:

- Es mucho más robusto frente a las sobreintensidades transitorias producidas durante la fase de arranque del motor.
- La zona de disparo térmico está regulada a mayor tiempo e intensidad.
- Dispone de una ruleta selectora para regular el reglaje del disparo térmico.
- Proporciona protección frente a la falta de tensión en una fase.
- Dispone de acoplamientos mecánicos específicamente diseñados para la conexión de bloques de contactos auxiliares NO y NC.

Figura 8.1. *Dos modelos diferentes de guardamotores. (Cortesía de Siemens y ABB.)*

Las características técnicas que definen el guardamotor son prácticamente las mismas que definen a los interruptores automáticos:

- Intensidad nominal o de disparo (A).
- Tensión nominal (V).
- Poder de corte (kA).
- Curva de disparo (generalmente es la D o la K).
- Temperatura de trabajo.
- Endurancia mecánica.
- Endurancia eléctrica.

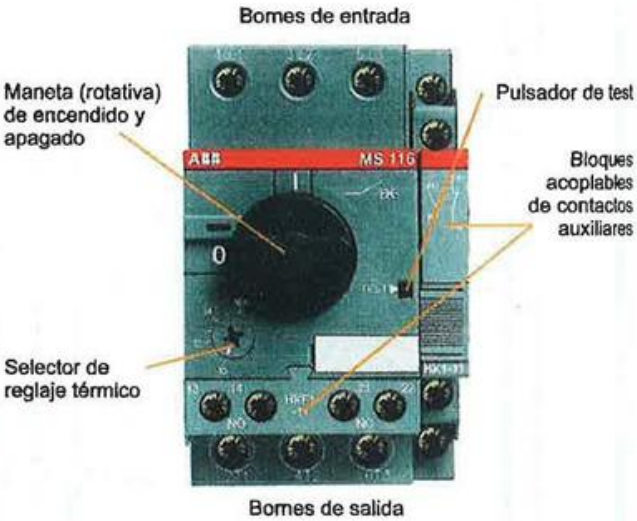


Figura 8.2. *Parámetros característicos de un guardamotor.*

8.1.2. Sondas térmicas para motores

Las sondas térmicas son un tipo de sensor de temperatura específico para la protección de los bobinados internos de un motor.

Los aumentos internos de temperatura en los motores pueden ser debidos a múltiples causas, como por ejemplo, una frecuencia de maniobra elevada, pérdida de una fase, refrigeración inadecuada o temperaturas ambiente excesivas.

El uso de sondas térmicas permite que, cuando los devanados del motor superan un determinado valor de temperatura, el motor se pare automáticamente al desconectarse el circuito de maniobra que lo controla. La máquina permanecerá fuera de servicio hasta que la temperatura descienda a unos niveles preestablecidos que aseguren su funcionamiento óptimo.

Existen dos tipos de sondas térmicas:

- **Sondas PTC:** son termistores insertados de serie en los devanados del motor, por parte del fabricante. Se basan en el principio de la variación de resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura, de manera que **si la temperatura aumenta la sonda aumenta su resistencia**. La anomalía se produce cuando el valor resistivo supera los 750 Ω y la desconexión del circuito de maniobra se hará efectiva cuando alcance el valor predefinido.

Los motores que incorporan sondas PTC de serie, las incorporan en cada fase del devanado, en el lado opuesto al ventilador.

Figura 8.3. *Sondas PTC.*

- **Sondas NTC:** son similares a las sondas PTC en uso y características, pero el principio de funcionamiento es justo el contrario, ya que **disminuyen su valor resistivo a medida que la temperatura interna del motor aumenta**.

  Las sondas NTC están diseñadas para ser acopladas al motor tras la fabricación, ya que no son introducidas de serie.

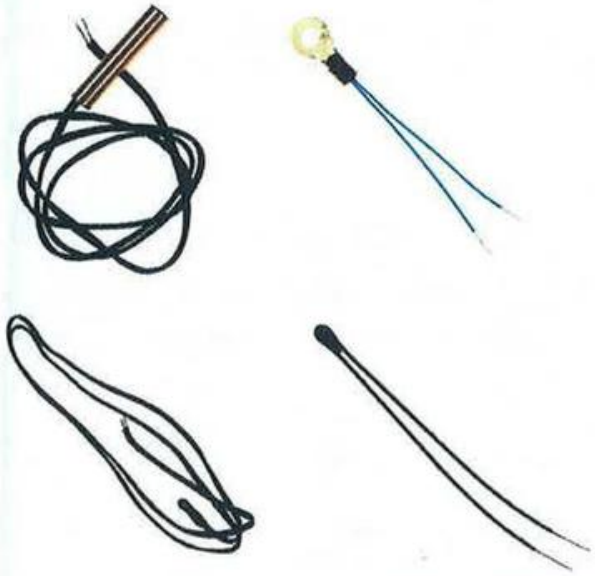


Figura 8.4. *Sondas NTC.*

El envío de las señales desde las sondas del motor hasta el circuito de maniobra puede realizarse a través de un amplificador electrónico o directamente hacia un relé específico de protección, que se activará tanto por aumento de la temperatura por encima del valor límite, como por el corte de línea o de cortocircuito de las sondas.

Figura 8.5. *Relé de control de hasta 6 termistores. (Cortesía de Siemens.)*

8.1.3. Relés electrónicos de protección integral

Los relés de protección integral son dispositivos electrónicos más sofisticados que los relés térmicos convencionales, cuya función es la protección de los motores frente a:

- Sobrecargas.
- Caídas de tensión.
- Variación de la frecuencia.
- Pérdida de una fase.
- Desequilibrios de corrientes e intensidades.
- Exceso número de arranques sucesivos por hora.

Están constituidos por microcontroladores electrónicos que supervisan constantemente los parámetros del circuito al que han sido conectados. Disponen de una memoria interna en la que se almacenan todas las anomalías detectadas, lo que facilita enormemente las tareas de mantenimiento; y permiten ajustar todas las características de funcionamiento del motor, así como los tiempos de actuación de las protecciones.

Al tratarse de dispositivos electrónicos, pierden muy poca precisión en las medidas con el paso del tiempo, al contrario de lo que ocurre con los relés convencionales. A pesar de sus múltiples ventajas, al tratarse de equipos muy caros en comparación con la aparamenta de protección convencional, su uso está limitado a instalaciones cuyos motores tienen un alto valor económico o participan en procesos productivos muy críticos.

Figura 8.6. *Relés de protección integral de motores. (Cortesía de Siemens y SEL.)*

8.2. Arranque de motores eléctricos

Todos los motores eléctricos, tal como se ha estudiado en unidades anteriores, presentan puntas de intensidad durante su fase de arranque, debido a la gran cantidad de energía necesaria para generar los campos magnéticos con la fuerza suficiente como para producir un movimiento giratorio en el eje del motor. De hecho, en condiciones normales, el mayor valor de intensidad de corriente consumido por un motor se produce en el momento inicial del arranque, es lo que se ha denominado como intensidad máxima (*Imáx*) o intensidad de arranque (*Ia*).

8.2.1. Arranque de motores trifásicos

Los posibles métodos de arranque de motores eléctricos trifásicos son los siguientes:

- Arranques realizados mediante lógica cableada:
  - — Arranque directo.
  - — Arranque estrella-triángulo (Y-Δ).
  - — Arranque mediante resistencias estatóricas.
  - — Arranque mediante resistencias rotóricas.
  - — Arranque por autotransformador.
  - — Arranque *part-winding*.
- Arranques realizados mediante dispositivos electrónicos:
  - — Arrancadores progresivos.

En todos ellos, el objetivo buscado es reducir la intensidad en el arranque hasta unos límites admisibles que, por un lado, se encuentren dentro de los límites legales establecidos por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, y por otro lado, no supongan un peligro para la integridad de los componentes de las instalaciones. Reduciendo la punta en el arranque de los motores también se consigue evitar el disparo intempestivo de los dispositivos de protección del circuito de fuerza.

Tabla 8.1. Límite admisible de intensidad en el arranque para motores de corriente alterna.

Potencia del motor	*Ia*/*In*
$P \leq 0{,}75$ kW	No aplica
0,75 kW < $P \leq$ 1,5 kW	4,5
1,5 kW < $P \leq$ 5,0 kW	3,0
5,0 kW < $P \leq$ 15 kW	2,0
$P >$ 15 kW	1,5

Las características de los diferentes métodos de arranque de motores se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 8.2. Características de los métodos de arranque de motores trifásicos.

	Directo	Estrella triángulo	Resistencias estatóricas	Resistencias rotóricas	Autotransformador	*Part winding*	Convertidor frecuencia
Motor	Estándar	Estándar	Estándar	Específico	Estándar	6 devanados	Estándar
Coste	+	++	+++	+++	+++	++	++++
Corriente arranque motor	5 a 10 In	2 a 3 In	Aprox. 4,5 In	Aprox. 2 In	1,7 a 4 In	2 In	In
Caída de tensión	Alta	Alta en el cambio de conexión	Baja	Baja	Baja: precaución al conectar en directo	Baja	Baja
Armónicos de tensión y corriente	Alto	Moderado	Moderado	Bajo	Moderado	Moderado	Alto
Factor de potencia	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado	Bajo	Moderado	Alto
Número de arranq. disponibles	Restringido	2-3 veces más que directo	3-4 veces más que directo	2-3 veces más que directo	3-4 veces más que directo	3-4 veces más que directo	Elevado

	Directo	Estrella triángulo	Resistencias estatóricas	Resistencias rotóricas	Autotransformador	*Part winding*	Convertidor frecuencia
Par disponible	Aprox. 2,5 Mn	0,2 a 0,5 Mn	Mn	Aprox. 2 Mn	Aprox. 0,5 Mn	2 Mn	1,5 a 2 Mn
Solicit. térmica	Muy alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Baja
Solicitación mecánica	Muy alta	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Moderada	Baja
Tipo de carga recomendado	Cualquiera	Sin carga	Bombas y vent.	Cualquiera	Bombas y vent.	Par creciente	Cualquiera
Carga gran inercia	Sí	No	No	Sí	No	No	Sí

8.2.2. Arranque directo de un motor

Se trata del método de arranque más sencillo y económico, mediante el cual se suministra corriente al estátor del motor sin ningún paso intermedio. En estas condiciones el motor puede llegar a demandar hasta 10 veces su intensidad nominal, o incluso un valor mayor si el arranque se hace con carga.

Las principales ventajas que presenta el arranque directo, aparte de la sencillez y bajo precio del montaje, es el bajo tiempo empleado en alcanzar las condiciones nominales de funcionamiento (entre 2 y 3 segundos) y el elevado par de arranque que ofrece el motor, por lo que se suele utilizar en la mayoría de los motores de pequeña y mediana potencia.

RECUERDA

En motores de potencia superior a 750 W, no está permitido realizar un arranque directo.

En la práctica, solo resulta posible realizar el arranque directo a un motor eléctrico en los siguientes casos:

- La potencia del motor es baja con respecto a la totalidad de la instalación, para limitar las perturbaciones electromagnéticas que provoca el pico de intensidad de corriente.
- La aplicación del motor no requiere un aumento lento o progresivo de su velocidad
- El motor dispone de un dispositivo mecánico que impide el arranque brusco.
- La instalación debe ser capaz de soportar la demanda térmica y mecánica del arranque.

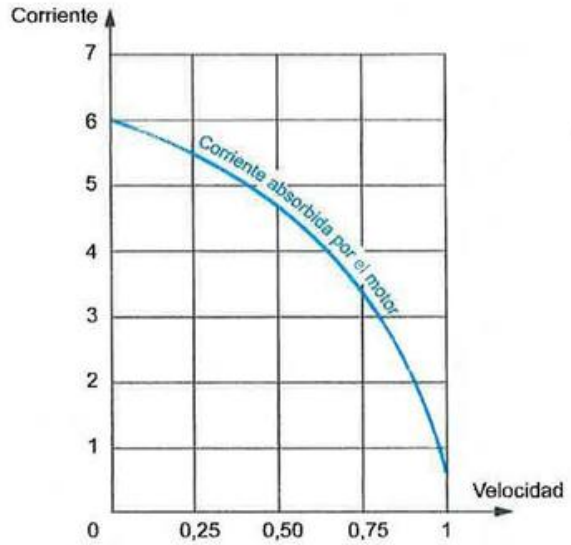


Figura 8.7. *Curva corriente/velocidad en arranque directo.*

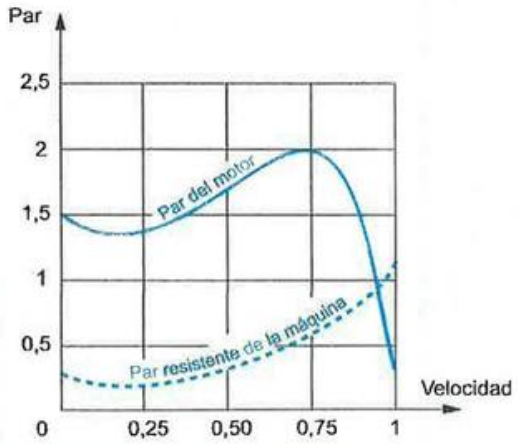
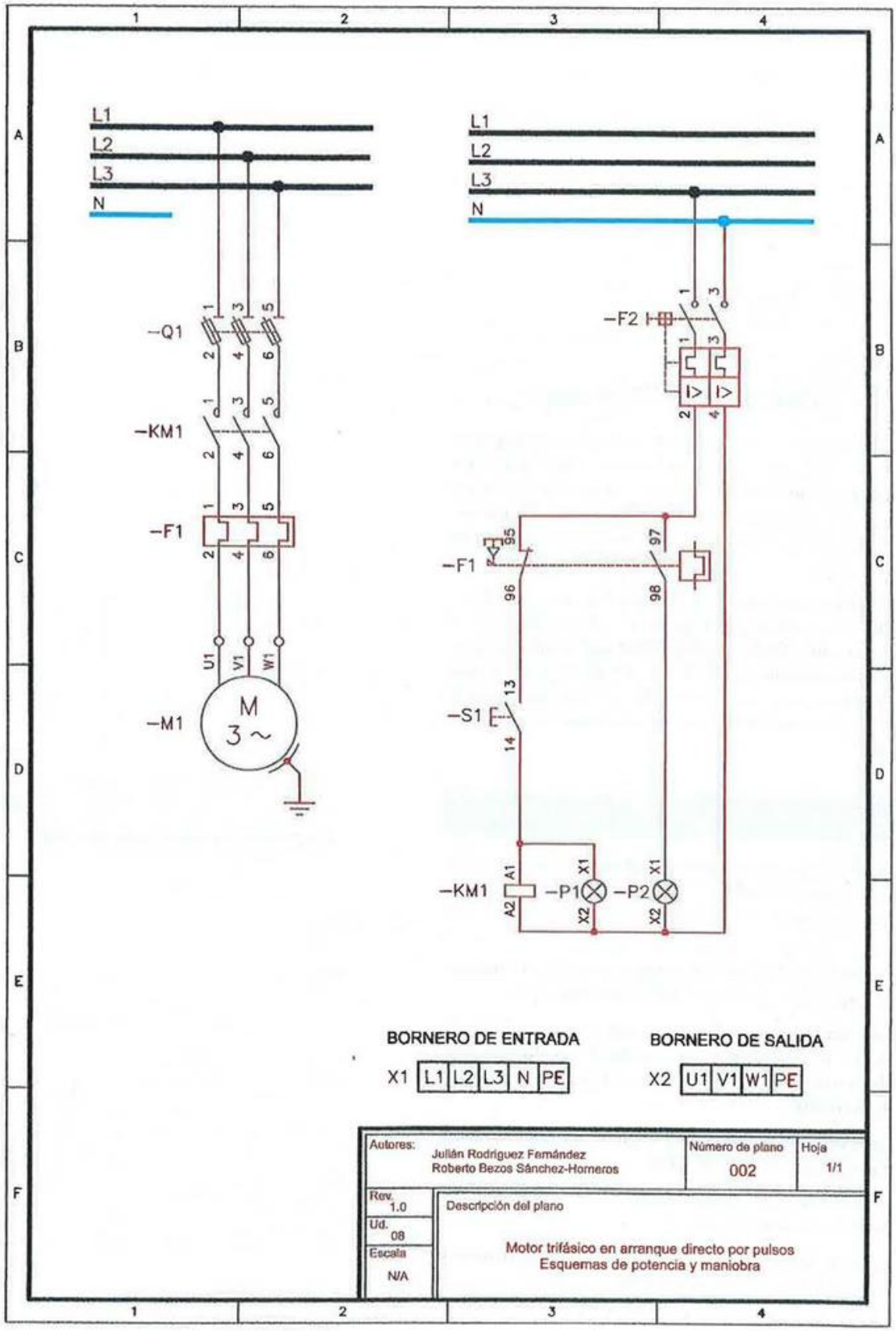
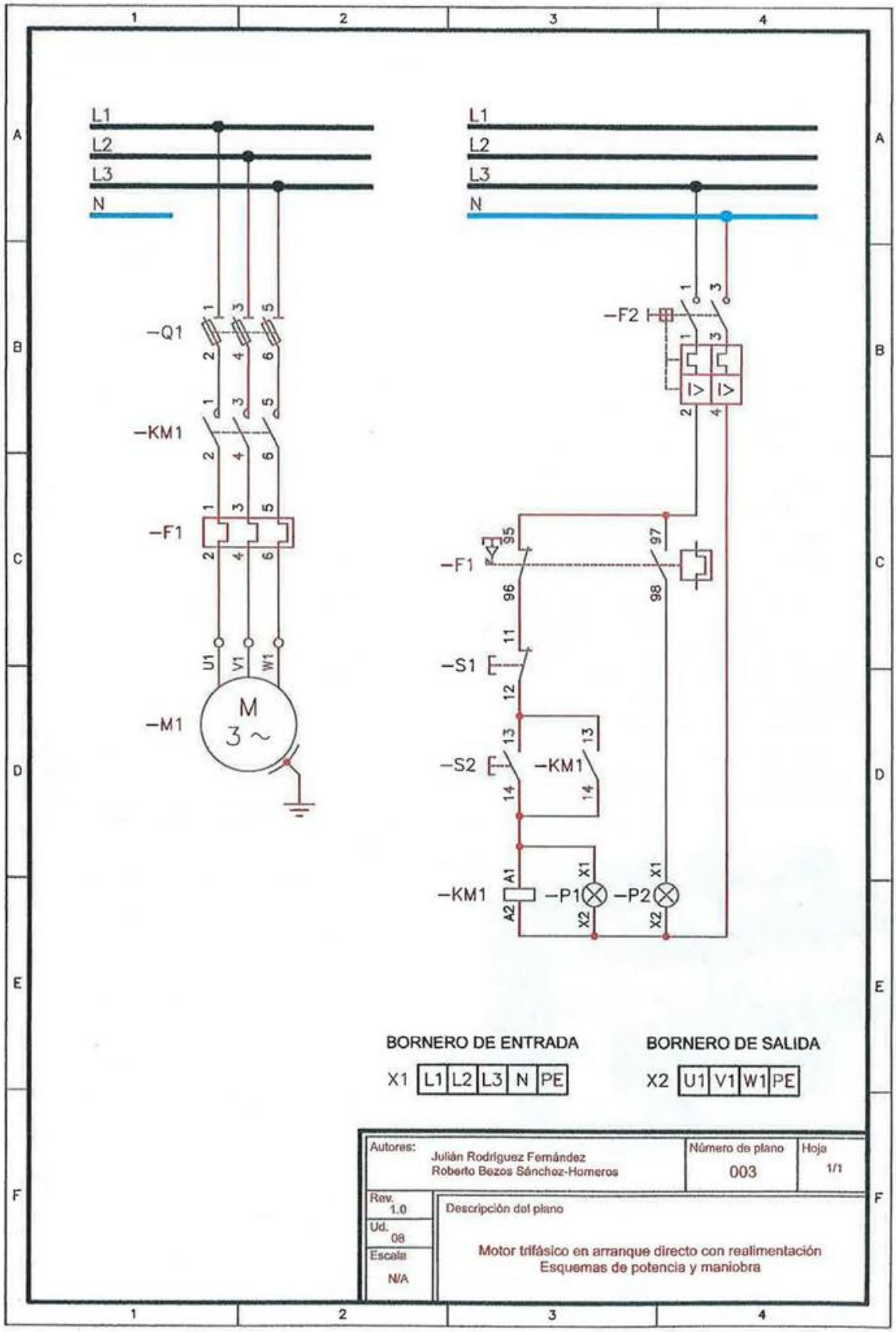


Figura 8.8. *Curva par/velocidad en arranque directo.*


L1
L2
L3
N
-Q1
-KM1
-F1
U1
V1
W1
M
3 ~
-M1
-F2
95
96
97
98
-S1
13
14
A1
A2
-KM1
X1
X2
-P1
-P2
BORNERO DE ENTRADA
X1 L1 L2 L3 N PE
BORNERO DE SALIDA
X2 U1 V1 W1 PE
Autores: Julián Rodríguez Fernández, Roberto Bezos Sánchez-Homeros
Número de plano 002
Hoja 1/1
Rev. 1.0
Ud. 08
Escala N/A
Descripción del plano
Motor trifásico en arranque directo por pulsos
Esquemas de potencia y maniobra



BORNERO DE ENTRADA

X1 | L1 | L2 | L3 | N | PE |

BORNERO DE SALIDA

X2 | U1 | V1 | W1 | PE |

Autores: Julián Rodríguez Fernández, Roberto Bezos Sánchez-Romeros	Número de plano: 003	Hoja: 1/1
Rev. 1.0	Descripción del plano: Motor trifásico en arranque directo con realimentación. Esquemas de potencia y maniobra	
Ud. 08		
Escala: N/A		

8.2.3. Arranque estrella-triángulo (Y-Δ)

Este tipo de arranque únicamente puede ser utilizado en motores trifásicos en los que existe la posibilidad de ser conectados tanto en estrella como en triángulo, cuando la tensión de la red eléctrica es tal, que **el motor deba funcionar en triángulo en régimen permanente**.

RECUERDA

De las dos tensiones ofrecidas para un motor de conexión Y-Δ, la tensión menor corresponde a la que habría que utilizar para la conexión en triángulo.

El método de arranque consiste en realizar una conexión en estrella en los momentos iniciales de la conexión del motor. De esta manera, a los devanados internos les llegará la tensión de la red dividida por el coeficiente $\sqrt{3}$.

Al recibir menos tensión de la que el estátor requiere para su funcionamiento, la intensidad absorbida durante el arranque también se verá reducida, en aproximadamente 2/3 de la intensidad que el motor tendría en arranque directo (I_{AD}). Es decir, con el arranque estrella-triangulo **se logra reducir la I_{AD} hasta el 33 % de su valor**. Pasados unos segundos desde el arranque, cuando los campos magnéticos ya se han establecido y el eje del motor ha comenzado a girar, se realiza una conmutación por medio de tres contactores, pasando de la conexión en estrella a la conexión en triángulo. En estas condiciones el motor alcanza el régimen de funcionamiento nominal conectado adecuadamente en triángulo.

Figura 8.9. *Grupo de tres contactores precableados para el arranque Y-Δ.*

Mediante el arranque Y-Δ, se aumenta el tiempo que el motor tarda en alcanzar el régimen de trabajo nominal, siendo generalmente de entre **3 a 12 segundos** dependiendo de las necesidades, ya que este tiempo es regulable.

Es un sistema de arranque muy económico y fiable utilizado fundamentalmente en máquinas que arrancan en vacío, ventiladores, bombas de baja potencia y equipos similares. Las desventajas que presenta son las siguientes:

- El **par de arranque es muy débil** (se reduce hasta el 33 % del valor que alcanzaría en arranque directo).
- La única posibilidad de ajuste del arranque es el tiempo que tardará en hacer la conmutación.
- Durante la conmutación de estrella a triángulo, se produce un corte de alimentación que genera fenómenos y perturbaciones transitorias, por lo que los motores en los que se aplica este arranque no pueden ser de potencia muy elevada.

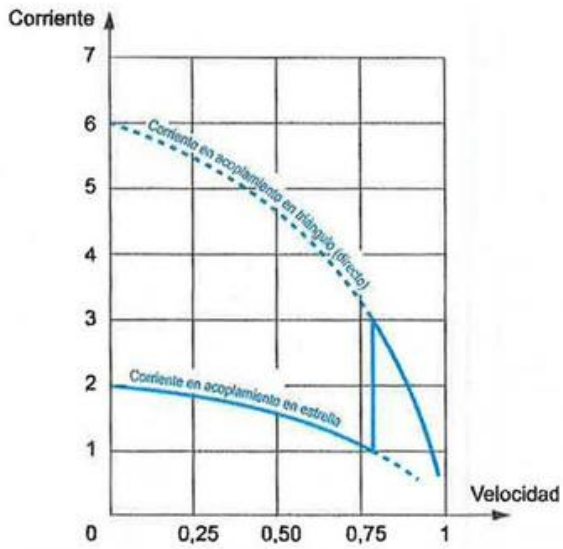


Figura 8.10. *Curva corriente/velocidad en arranque Y-Δ.*

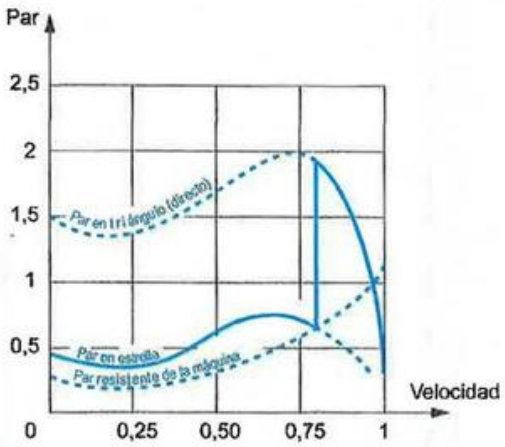
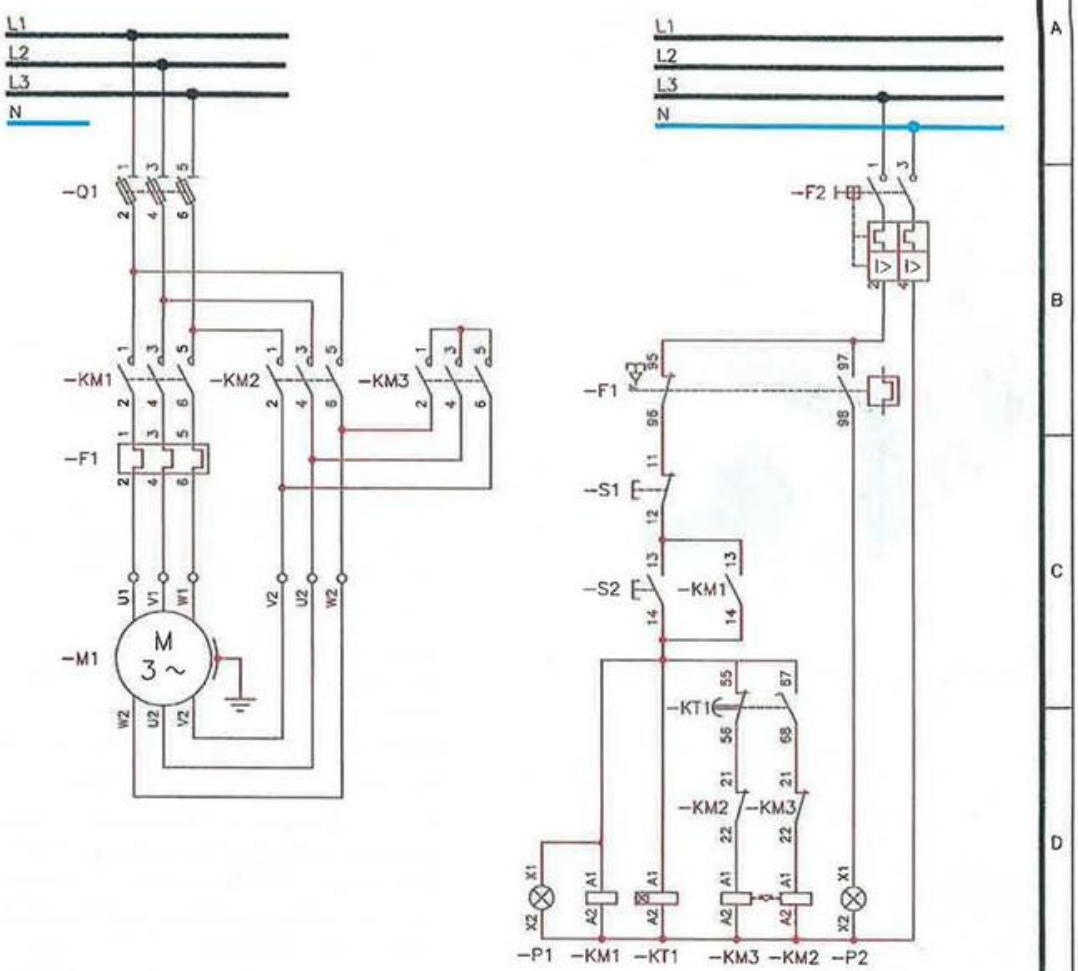


Figura 8.11. *Curva par/velocidad en arranque Y-Δ.*



BORNERO DE ENTRADA

X1 | L1 | L2 | L3 | PE |

BORNERO DE SALIDA

X2 | U1 | V1 | W1 | V2 | U2 | W2 | PE |

ACLARACIÓN:

En este tipo de arranque resulta muy recomendable añadir otro relé térmico bajo el contactor "KM2"

Autores: Julián Rodríguez Fernández, Roberto Bezos Sánchez-Horneros	Número de plano: 004	Hoja: 1/1
Rev. 1.0	Descripción del plano: Motor trifásico en arranque estrella-triángulo (Y-Δ) Método automático con temporizador. Esquemas de potencia y maniobra	
Ud. 08		
Escala N/A		

Arranque estrella-triángulo mediante métodos manuales

En el Plano 004 se muestra un arranque Y-Δ controlado de manera automática por un temporizador. Este es, sin duda, el método más utilizado para llevar a cabo este arranque, pero cabe destacar que también puede ser realizado de manera manual de dos formas alternativas:

- A través de un interruptor conmutador de tres posiciones ubicado en el circuito de fuerza, solo recomendable para motores que no superen los 10 kW.

Figura 8.12. *Conmutador de tres posiciones para el arranque Y-Δ.*

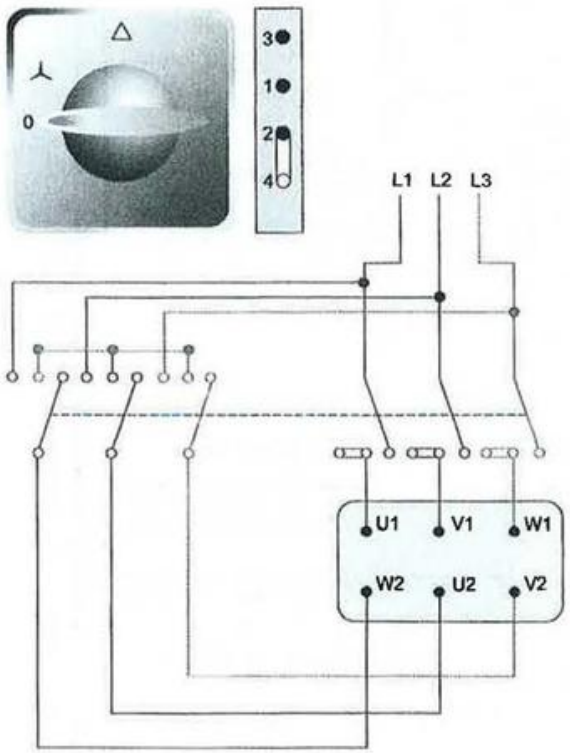


Figura 8.13. *Detalle de conexiones internas del conmutador de tres posiciones para el arranque Y-Δ.*

- Mediante dos pulsadores manuales situados en el circuito de maniobra. Estas prácticas de arranque manuales están cada vez más en desuso, dado que presentan un claro inconveniente: la conmutación de estrella a triángulo depende de la destreza del operario para calcular el tiempo que el motor permanece con la conexión en estrella, y de no realizarse correctamente, la máquina podría resultar dañada.

Actividad resuelta 8.1

Realiza el esquema de potencia y maniobra correspondiente al arranque de un motor trifásico de pequeña potencia mediante el método estrella-triángulo, realizando manualmente la conmutación de conexión en estrella a conexión en triángulo mediante dos pulsadores manuales.

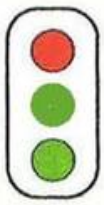
Solución:

El esquema de potencia no se ve alterado con respecto al arranque automático con temporizador. En el circuito de maniobra, sin embargo, es necesario hacer algunas modificaciones, representadas en el Plano 005.

En este caso, al accionar el pulsador de marcha S2, se activa en primer lugar el contactor KM3 (se cierra la conexión V2-U2-W2) y a continuación se cierra KM1, de manera que le empieza a llegar corriente al motor, el cual se encuentra conectado en estrella.

Este estado permanecerá activo hasta que el operario accione el pulsador S3, mediante el cual se desconecta KM3 y activa KM2, pasando el motor a estar conectado de manera permanente en triángulo, hasta que se accione el pulsador de paro S1. Una vez en este estado no influye que se vuelva a pulsar S3, dado que las conexiones entre contactores están protegidas por enclavamientos eléctricos.

El puesto de mando, por tanto, sería similar a este:

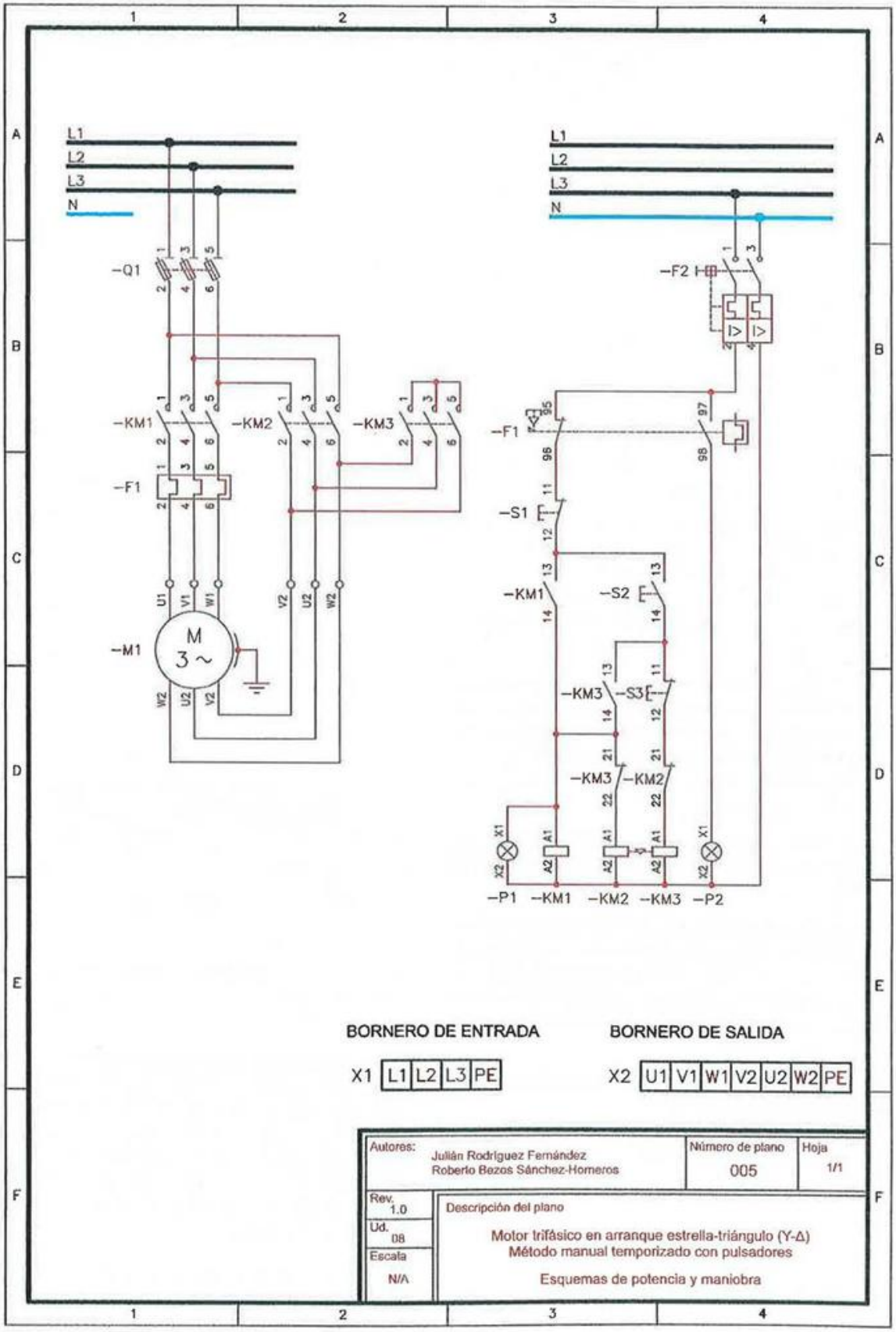


S1 - Pulsador de paro

S2 - Pulsador de arranque en estrella

S3 - Pulsador de paso a triángulo

Al llevar a la práctica este tipo de esquemas, hay que prestar especial atención en el arranque del motor, puesto que de no realizarse la conmutación de estrella a triángulo en el tiempo adecuado el motor podría sufrir daños internos, dado que se está alimentando a los devanados por debajo de su tensión nominal.



BORNERO DE ENTRADA

X1 | L1 | L2 | L3 | PE |

BORNERO DE SALIDA

X2 | U1 | V1 | W1 | V2 | U2 | W2 | PE |

Autores: Julián Rodríguez Fernández, Roberto Bezos Sánchez-Homeros	Número de plano: 005	Hoja: 1/1
Rev. 1.0	Descripción del plano: Motor trifásico en arranque estrella-triángulo (Y-Δ) Método manual temporizado con pulsadores. Esquemas de potencia y maniobra	
Ud. 08		
Escala N/A		

8.2.4. Arranque mediante resistencias estatóricas

Otra técnica para reducir la tensión que llega al estátor en el momento de la conexión a la red del motor, y de esta forma reducir también la intensidad en el arranque, consiste en colocar elementos eléctricos en serie con los devanados del estátor, de manera que se obtenga una caída de tensión controlada.

Los elementos que se encarguen de esta función deben ser de tipo resistivo, para evitar el consumo de energía reactiva y para que la caída de tensión provocada pueda ser disipada en forma de calor por efecto Joule. En consecuencia, la técnica de arranque mediante resistencias estatóricas consiste en intercalar en el circuito de fuerza que alimenta al motor, bloques de resistencias o reóstatos que recibirán tensión durante la fase de arranque del motor y serán anulados (cortocircuitados) en el momento que el motor alcance unas condiciones de trabajo estables.

Este arranque generalmente se realiza mediante un único bloque de resistencias. Su valor óhmico se calcula en base a la punta de corriente que no debe ser superada durante el arranque (véase Tabla 8.1), o al valor mínimo del par de arranque necesario para mover el eje del motor en el momento del arranque, en función de su uso.

Durante el arranque por resistencias estatóricas **se reduce la intensidad que el motor tendría en arranque directo (I_{AD}) en un 30 % aproximadamente, y el par se ve reducido a la mitad**. Hay que tener en cuenta que estos valores son orientativos, ya que dependen del propio bloque de resistencias conectadas.

El **tiempo de arranque** también depende del propio ajuste del temporizador aunque puede establecerse entre **7 y 12 segundos**.

Al realizar el cálculo de las resistencias necesarias para el arranque, se tendrá en cuenta tanto el número de arranques por hora previsto, como el tiempo deseado de arranque. Como valor por defecto, se calcula la resistencia estatórica para 5 arranques por hora y 8 segundos de tiempo de arranque.

El valor óhmico del bloque de resistencias puede hallarse mediante la siguiente fórmula:

$$R = 0{,}055 \cdot \frac{U_N}{I_N}$$

Donde:

R = resistencia por fase (Ω)

U_N = tensión de alimentación (V)

I_N = intensidad nominal del motor (A)

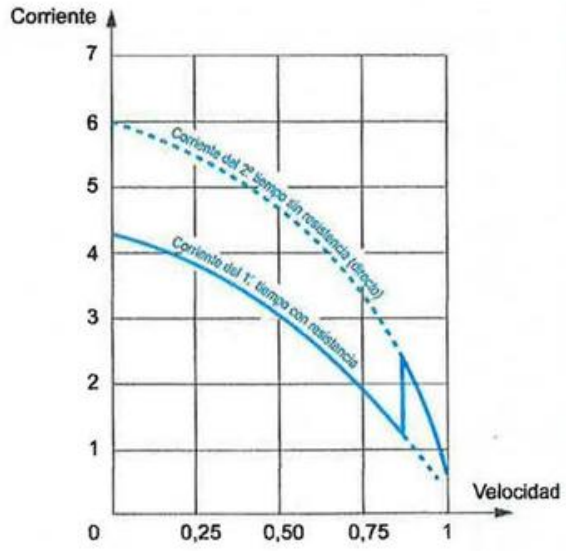


Figura 8.14. *Curva corriente/velocidad en arranque mediante un grupo de resistencias estatóricas.*

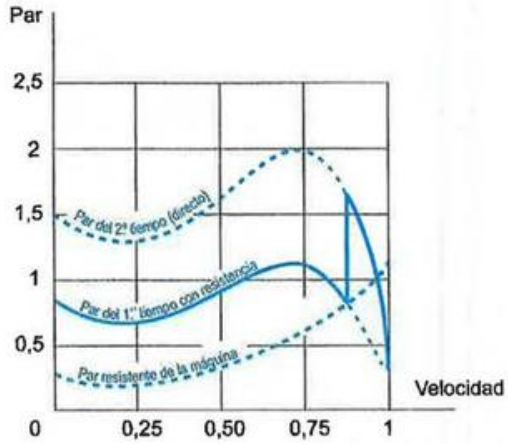
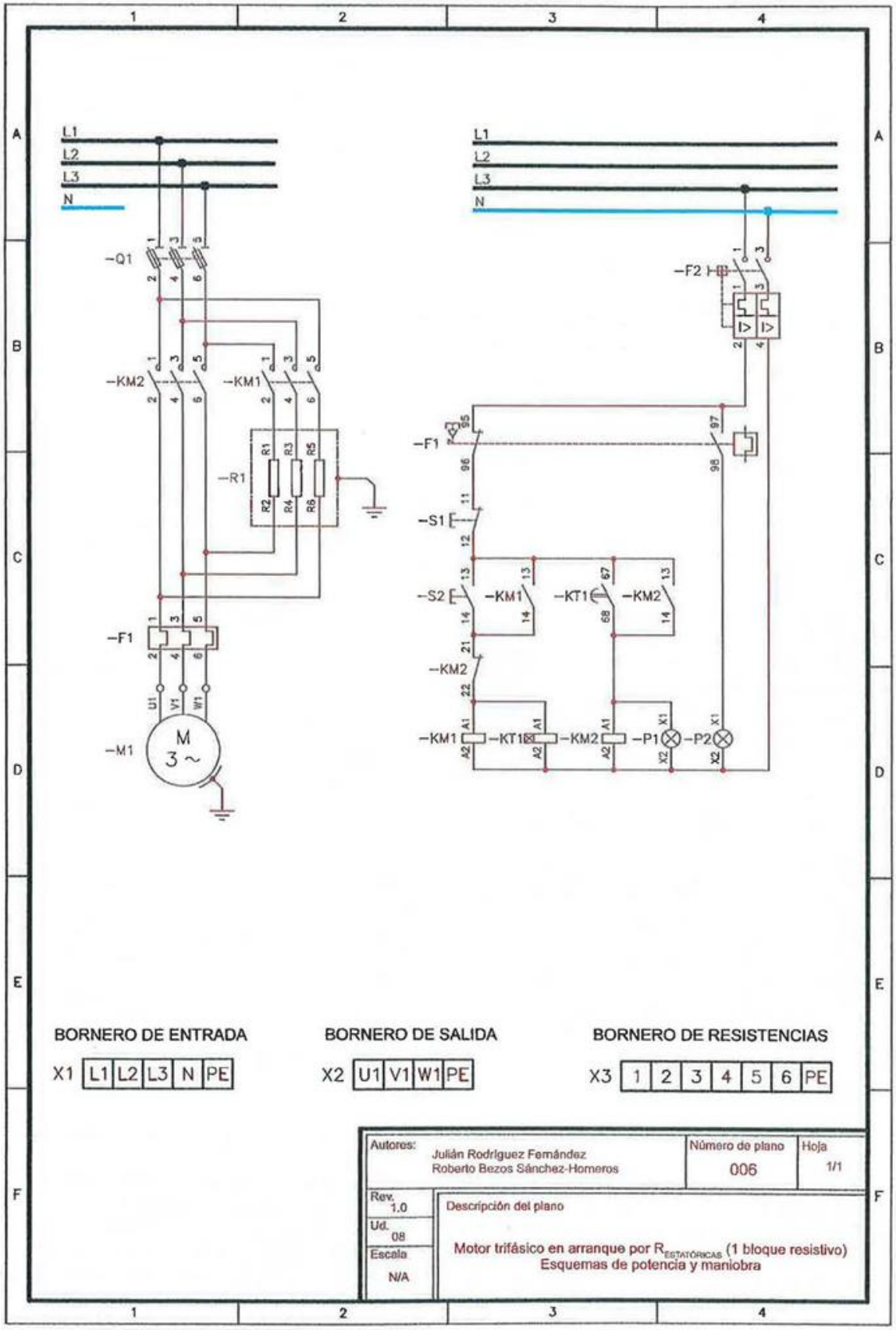


Figura 8.15. *Curva par/velocidad en arranque mediante un grupo de resistencias estatóricas.*

El arranque por resistencias estatóricas presenta la ventaja de que permite la posibilidad de ajuste de los valores en el arranque, además de reducir notablemente los picos generados por las corrientes transitorias. Sin embargo, presenta la gran desventaja de requerir bloques de resistencias de grandes dimensiones que emiten mucho calor y pueden llegar a ser una fuente potencial de incendios si no se refrigeran adecuadamente.

El uso de las resistencias estatóricas está indicado para máquinas eléctricas de gran inercia que no precisen un par de arranque elevado.



BORNERO DE ENTRADA

X1 | L1 | L2 | L3 | N | PE |

BORNERO DE SALIDA

X2 | U1 | V1 | W1 | PE |

BORNERO DE RESISTENCIAS

X3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | PE |

Autores: Julián Rodríguez Fernández, Roberto Bezos Sánchez-Romeros	Número de plano: 006	Hoja: 1/1
Rev. 1.0 / Ud. 08 / Escala N/A	Descripción del plano: Motor trifásico en arranque por $R_{ESTATÓRICAS}$ (1 bloque resistivo). Esquemas de potencia y maniobra	

8.2.5. Arranque mediante resistencias rotóricas

El arranque mediante resistencias rotóricas se basa en el mismo principio de funcionamiento que el arranque mediante resistencias estatóricas, solo que en este caso los bloques resistivos se conectan en serie con los devanados de inducido.

Este método, por tanto, únicamente es aplicable en motores que tienen el rotor accesible. De hecho, en estos motores resulta siempre necesario aplicar un método de reducción de la intensidad de arranque, dado que las puntas de corriente generadas son excesivamente altas.

RECUERDA

Los bornes del rotor accesible (rotor bobinado o rotor de anillos) se identifican con las letras K-L-M.

El arranque por resistencias rotóricas se realiza generalmente mediante uno, dos, tres, cuatro o cinco bloques de resistencias, que se irán desconectando (cortocircuitando) del circuito de manera escalonada y progresiva. El número de bloques de resistencias y su valor óhmico se determina en función de la curva par/velocidad que se desee obtener, dado que, para un par determinado, la velocidad será menor a medida que la resistencia aumente.

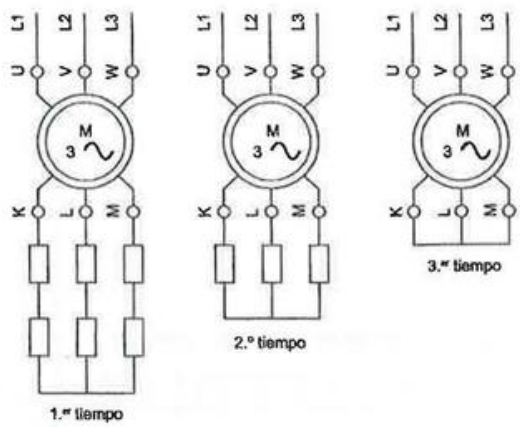


Figura 8.16. *Ejemplo de representación de los tiempos de arranque con dos bloques resistivos.*

Durante el arranque por resistencias estatóricas **se reduce la intensidad que el motor tendría en arranque directo (I_{AD}) en un 30 % aproximadamente**, aunque esto depende de la carga óhmica conectada. El **par de arranque** obtenido suele ser **proporcional a la intensidad de arranque**, es decir, si por ejemplo se obtiene una con un determinado bloque de resistencias, una intensidad de arranque 2,5 veces superior a la nominal, el par de arranque también será 2,5 superior al par nominal.

El **tiempo** que el motor tarda en alcanzar el régimen de funcionamiento nominal también depende del propio ajuste de los temporizadores, aunque puede establecerse entre **7 y 15 segundos**, dependiendo del número de escalones.

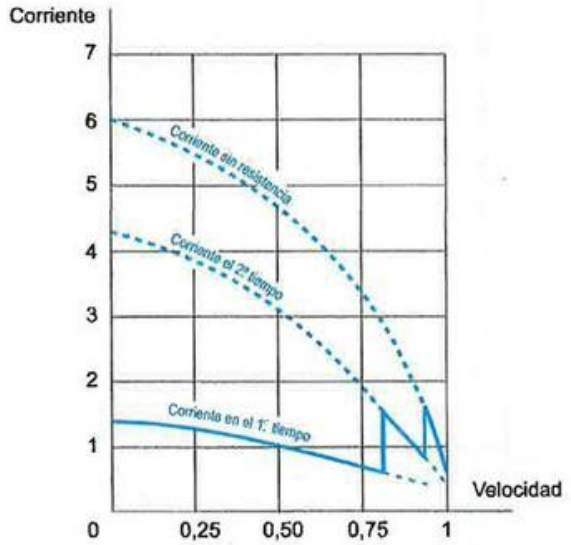


Figura 8.17. *Curva corriente/velocidad en arranque mediante dos bloques de $R_{rotóricas}$.*

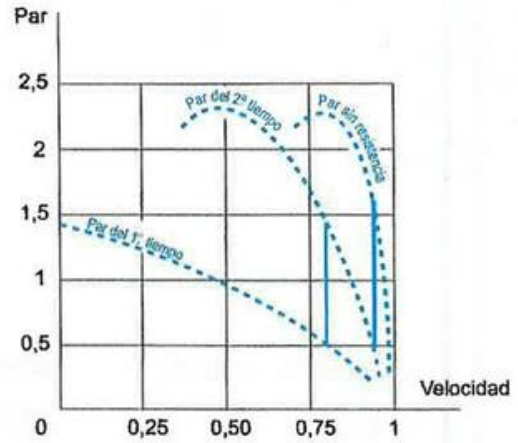
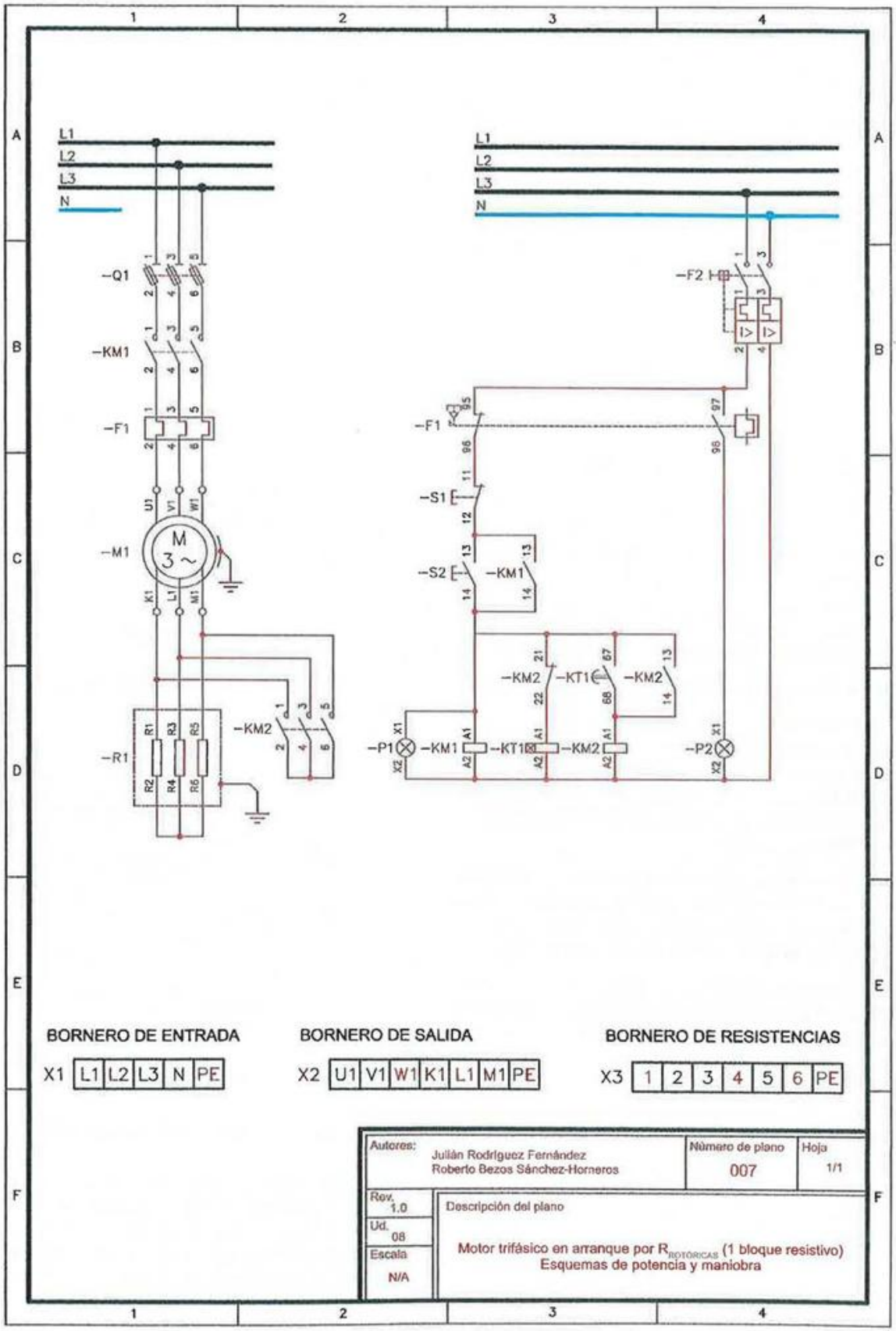


Figura 8.18. *Curva par/velocidad en arranque mediante dos bloques de $R_{rotóricas}$.*

El arranque por resistencias rotóricas es muy flexible, ya que es posible adaptar fácilmente el número y el aspecto de las curvas de par, intensidad y velocidad en función de los requisitos de un proceso. Sin embargo, los motores de rotor bobinados son mucho más costosos y difíciles de mantener, por lo que este tipo de arranque solo suele utilizarse en máquinas que arrancan en carga o que necesitan un arranque progresivo.


L1
L2
L3
N
-Q1
-KM1
-F1
-M1
M
3 ~
-R1
-KM2
-F2
-S1
-S2
-KT1
-P1
-P2
BORNERO DE ENTRADA
X1 L1 L2 L3 N PE
BORNERO DE SALIDA
X2 U1 V1 W1 K1 L1 M1 PE
BORNERO DE RESISTENCIAS
X3 1 2 3 4 5 6 PE
Autores: Julián Rodríguez Fernández
Roberto Bezos Sánchez-Horneros
Número de plano 007
Hoja 1/1
Rev. 1.0
Ud. 08
Escala N/A
Descripción del plano
Motor trifásico en arranque por R ROTÓRICAS (1 bloque resistivo)
Esquemas de potencia y maniobra

8.2.6. Arranque por autotransformador

El autotransformador es una máquina eléctrica, similar a un transformador de potencia, que únicamente cuenta con un devanado para los circuitos magnéticos de entrada y salida.

La característica fundamental de este dispositivo es que la conexión de los bornes de salida es regulable en varias posiciones o tomas, de manera que la relación de transformación entre la tensión de entrada y la tensión de salida, U_1/U_2, es variable.

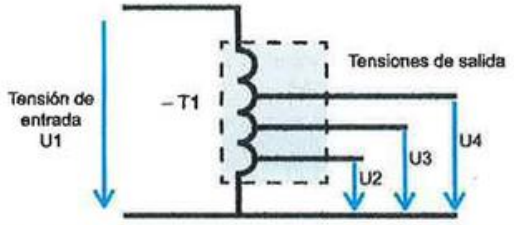


Figura 8.19. *Representación gráfica de un autotransformador.*

Durante el arranque por autotransformador, el motor se alimenta inicialmente a una tensión más reducida que la de la red, y en consecuencia, la intensidad demandada en el arranque también disminuye. Cuando la máquina alcanza la estabilidad, el autotransformador queda fuera del circuito.

El proceso de arranque se lleva a cabo en tres etapas:

1. El autotransformador comienza acoplándose en estrella y a continuación, el motor se conecta a la red a través de una parte de los devanados del autotransformador. La tensión de entrada al motor podrá seleccionarse en función de la toma del autotransformador a la que sea conectado.
2. Cuando el motor alcanza la velocidad de equilibrio, la conexión en estrella del autotransformador se abre, de manera que la parte superior del bobinado del autotransformador queda conectada en serie con el motor.
3. Unos instantes después de la segunda etapa, se cortocircuita el autotransformador (queda fuera del circuito) y el motor se acopla directamente a la tensión de la red.

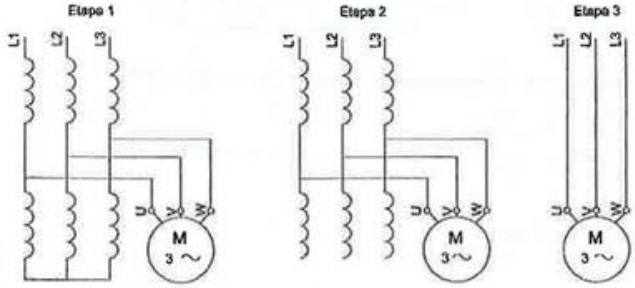


Figura 8.20. *Representación de las etapas de arranque por autotransformador.*

La corriente y el par de arranque mediante este tipo de arranque varían en la misma proporción que la tensión de entrada. Normalmente, en la primera etapa tanto la **corriente como el par de arranque se ven reducidos entre un 40 % y un 80 %** del valor que tendrían en arranque directo.

El tiempo de arranque, que depende de la programación de los temporizadores, oscila entre **7 y 12 segundos**.

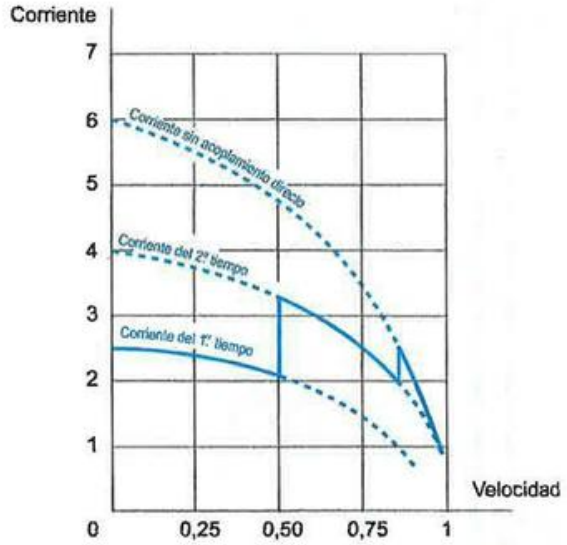


Figura 8.21. *Curva corriente/velocidad en arranque mediante autotransformador.*

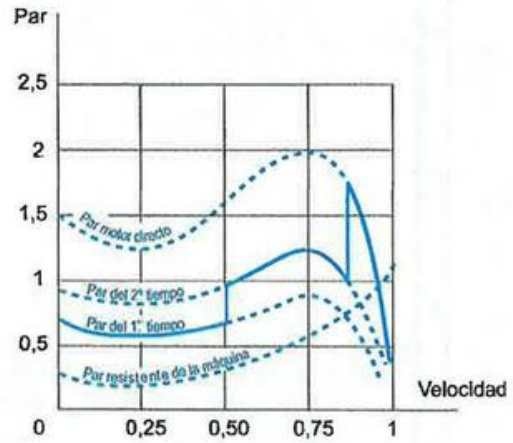
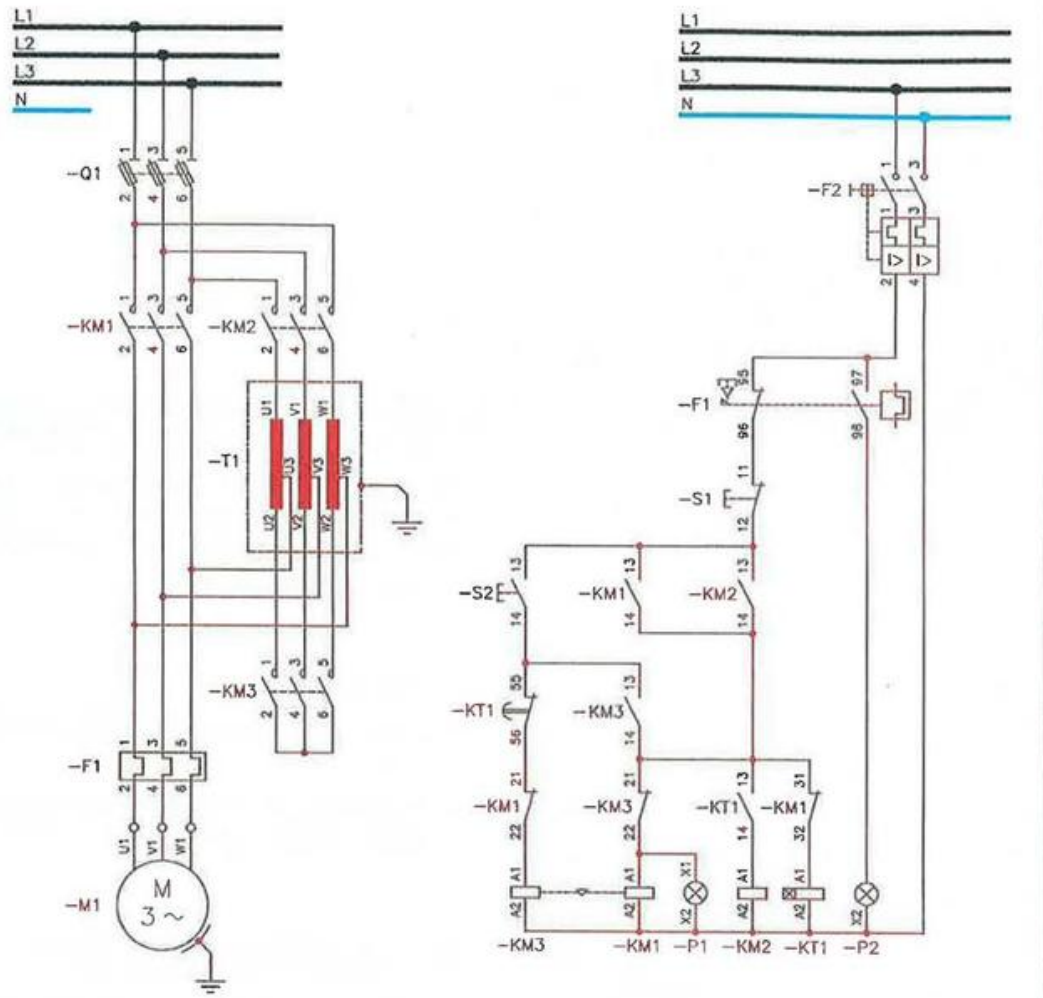


Figura 8.22. *Curva par/velocidad en arranque mediante autotransformador.*

Este arranque es muy utilizado en máquinas de gran potencia o gran inercia, fundamentalmente en motores de potencia superior a 100 kW. Es un método muy eficaz dado que no hay interrupciones en la tensión durante el cambio de etapas y la relación par/corriente es muy buena. Las principales desventajas son el alto coste económico de los equipos y la gran cantidad de perturbaciones que genera.



BORNERO DE ENTRADA

X1 | L1 | L2 | L3 | PE |

BORNERO DE SALIDA

X2 | U1 | V1 | W1 | PE |

BORNERO DE AUTOTRANSFORMADOR

X3 | U1 | V1 | W1 | U2 | V2 | W2 | U3 | V3 | W3 | PE |

Autores: Julián Rodríguez Fernández, Roberto Bezos Sánchez-Romeros		Número de plano: 008	Hoja: 1/1
Rev. 1.0	Descripción del plano: Motor trifásico en arranque por autotransformador. Esquemas de potencia y maniobra		
Ud. 08			
Escala N/A			

8.2.7. Arranque *part-winding*

El motor eléctrico de tipo *part-winding* se caracteriza porque los devanados estatóricos se encuentran desdoblados y presentan seis o doce bornes de salida.

El arranque *part-winding*, por tanto, solo puede ser realizado en los motores del mismo nombre, y el principio de funcionamiento es el siguiente: durante el arranque, solo una parte de los devanados se conecta directamente a la red, lo que **reduce aproximadamente a la mitad** tanto la corriente como el par de arranque. Al finalizar la etapa de arranque (pasados entre 3 y 6 segundos generalmente) se acoplan el resto de los devanados, alcanzando el motor sus características de funcionamiento nominales.

Este tipo de arranque es muy utilizado en los motores asociados a las máquinas y equipos de climatización, especialmente en los compresores que arrancan en vacío o con poca carga.

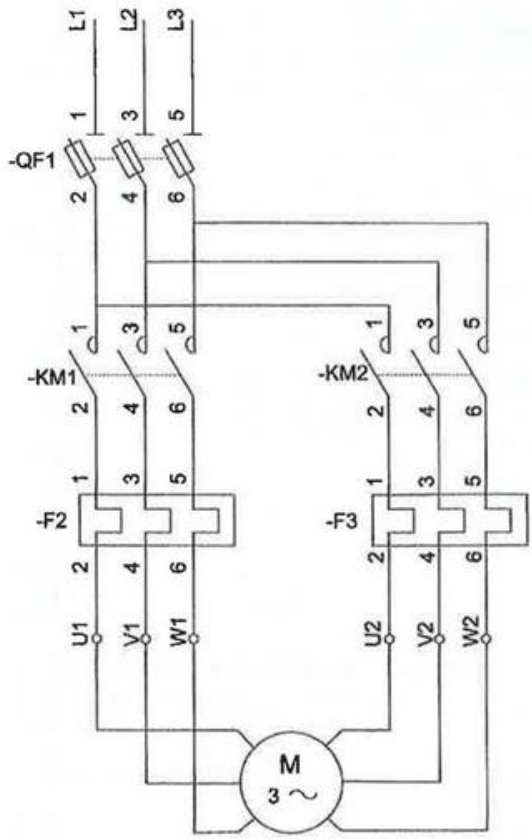


Figura 8.23. *Esquema de potencia asociado a un motor* part-winding.

Las principal ventaja que presenta el arranque *part-winding* es su sencillez, de hecho el montaje del circuito de fuerza es similar al de un motor de dos velocidades. Además, ofrece un par de arranque relativamente elevado. La desventaja, por contra, es evidente: se requiere un motor especial para llevar a cabo el arranque.

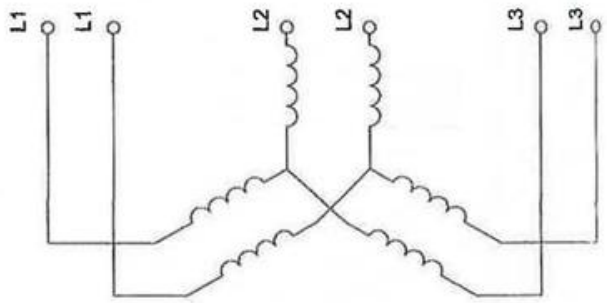


Figura 8.24. *Detalle de los devanados internos de un motor* part-winding *con 6 bornes de salida.*

Actividad propuesta 8.2

Dado el esquema de fuerza del arranque tipo *part-winding*, realiza el esquema de maniobra asociado, en el que tendrás que incluir, como mínimo, los siguientes elementos:

- Botones de marcha y paro.
- Dispositivos de protección.
- Realimentación.
- Lámparas indicadoras de marcha y lámpara indicadora de disparo térmico.

Realiza el esquema utilizando la simbología normalizada y respetando el marcado adecuado de los componentes.

8.2.8. Arranque electrónico

Los arrancadores electrónicos son dispositivos más sofisticados que los basados en tecnología cableada, y permiten realizar arranques en motores controlando y **regulando** la intensidad demandada por la máquina.

Son equipos regulables, de dimensiones reducidas y adaptables a cualquier ciclo de trabajo. La **intensidad en el arranque** del motor puede ser regulada generalmente entre un **25 % y un 75 %** de la que tendría en el arranque directo. El **par motor** será igualmente regulable, entre unos valores que oscilan **del 10 % al 70 %** del par en arranque directo.

Es el método de arranque más progresivo que existe, con unos tiempos de trabajo que pueden variar desde 1 hasta 60 segundos.

Al tratarse de un componente electrónico, su principal desventaja es que genera perturbaciones electromagnéticas en las redes donde se ubica (fundamentalmente armónicos), pero gracias a las múltiples ventajas que ofrece, su

uso está muy estandarizado en máquinas eléctricas de todo tipo, como bombas, compresores, ventiladores, cintas de transporte, etc.

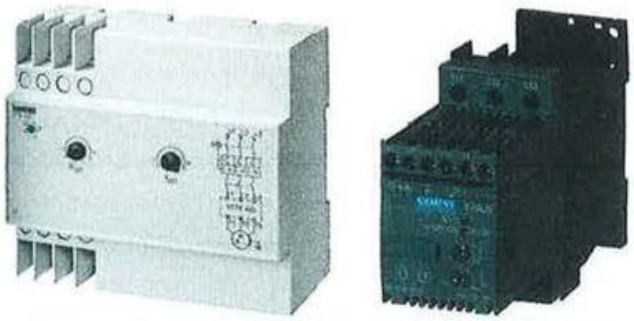


Figura 8.25. *Arrancadores electrónicos. (Cortesía de Siemens.)*

El principio de funcionamiento de los arrancadores electrónicos pasa fundamentalmente por un componente electrónico denominado **tiristor**. Este componente tiene la peculiaridad de que solo deja pasar la corriente eléctrica en un único sentido (de manera similar a lo que hace un diodo), pero con la peculiaridad de que dispone de una conexión específica, denominada *gate* o *puerta* a través de la cual es posible regular un ángulo dentro de la onda de tensión senoidal que será capaz de cortar, "troceando" dicha onda.

Si se instalan dos tiristores en un tipo de conexión específica denominada **antiparalelo**, el conjunto resultante podrá trocear la onda de tensión en los dos sentidos de paso de la corriente.

Figura 8.26. *Símbolo del tiristor.*

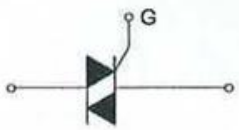


Figura 8.27. *Tiristores en antiparalelo.*

Figura 8.28. *Tiristores de alta y baja potencia.*

Al **cortar o trocear parte de la onda de tensión** que llega a un motor durante su arranque, el valor eficaz de la misma se verá reducido, y en consecuencia, al llegar menos voltaje al motor la intensidad en el arranque se verá también reducida.

La gran ventaja de este dispositivo es que puede regular el ángulo de entrada de la *puerta* de manera progresiva y gradual durante todo el funcionamiento del motor, motivo por el cual también se conoce a los arrancadores electrónicos como **arrancadores progresivos**.

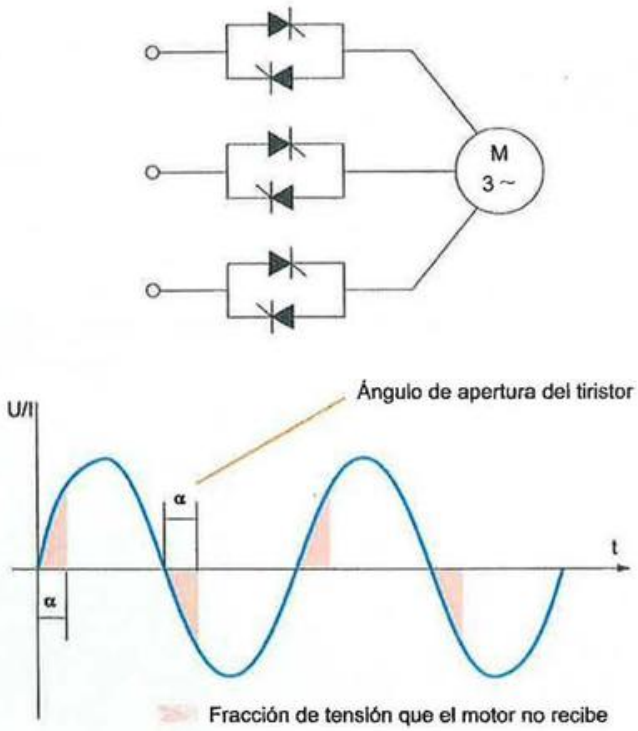


Figura 8.29. *Principio de funcionamiento de un arrancador electrónico.*

Las funciones básicas que cumple toda unidad de arranque electrónico son las siguientes:

- Indicador del estado del arrancador.
- Regulación de la intensidad de arranque.
- Conmutación de máquina (control de marcha/paro).

No obstante, en la actualidad es posible encontrar arrancadores electrónicos más sofisticados que ofrecen funciones avanzadas como:

- Rearme a distancia.
- Indicador de la carga del motor.
- Función de histórico y monitorización.
- Protección frente a cortocircuitos.

- Protección frente a sobrecargas.
- Protección por sobretemperatura.
- Rearranque automático.
- Función *bypass*.
- Seccionamiento de la máquina de la red de alimentación.

A continuación se muestran dos esquemas de conexión de un arrancador electrónico, con funciones integradas de conmutación de máquina, lo que permite no tener que disponer de contactores para la marcha y paro del motor. Cabe destacar que **el conexionado y alimentación de estos equipos depende de cada fabricante**, por lo que resulta necesario consultar el manual de instrucciones en cada caso.

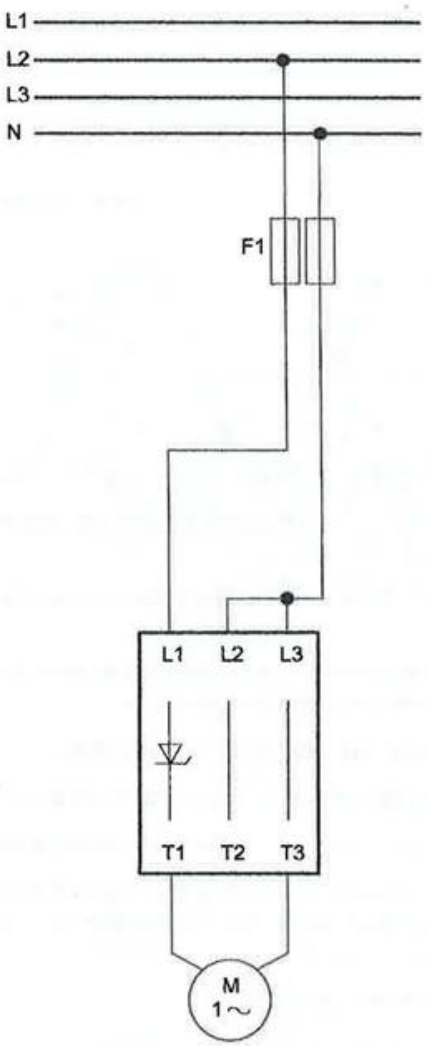


Figura 8.30. *Ejemplo de conexión simplificada de un arrancador electrónico para un motor monofásico.*

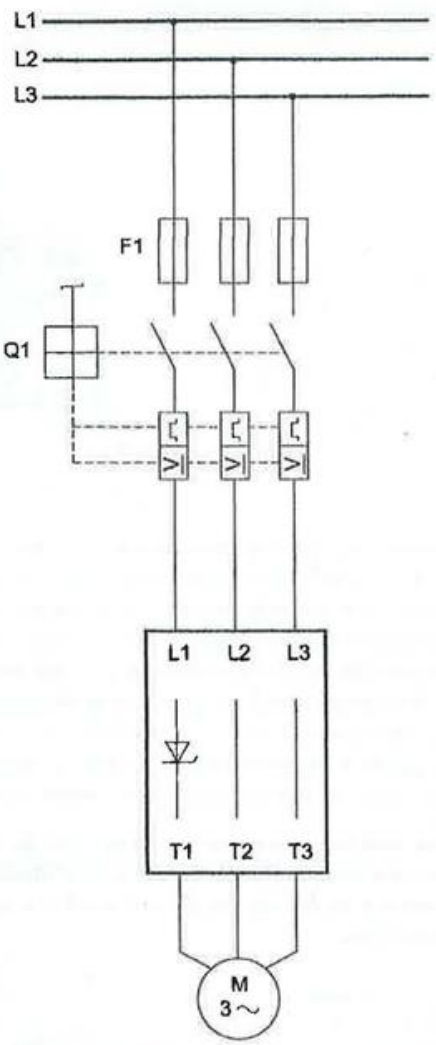


Figura 8.31. *Ejemplo de conexión simplificada de un arrancador electrónico para un motor trifásico.*

SABÍAS QUE

Existen dispositivos electrónicos más sofisticados que combinan la posibilidad de **arranque progresivo** con funciones adicionales como **variación de velocidad**, chequeo de contactores auxiliares, temporización, etc.

Estos equipos, aunque más caros, son más utilizados en las aplicaciones industriales basadas en motores que los propios arrancadores electrónicos.

Actividad propuesta 8.3

¿Qué ventajas e inconvenientes fundamentales crees que tienen los arranques estudiados basados en lógica cableada con el arranque mediante arrancador electrónico?

Actividad resuelta 8.3

Un equipo de ventilación formado por un motor trifásico (M1) se activa de manera automática por medio de un termostato (B1) cuando la temperatura del recinto alcanza cierto valor. No obstante, se puede activar por medio de un mando manual (S1).

Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado al equipo de ventilación teniendo en cuenta:

a) El ventilador arrancará de manera suave por medio de un arrancador progresivo.

b) La protección del circuito de fuerza se obtendrá mediante un guardamotor.

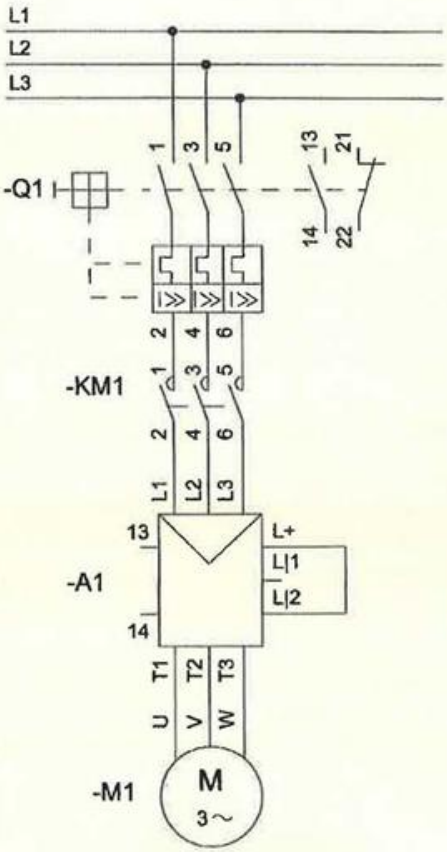
c) El sistema debe contar con señalización para la marcha del motor (H1).

d) El sistema debe contar con señalización frente a paro por sobrecarga (H2).

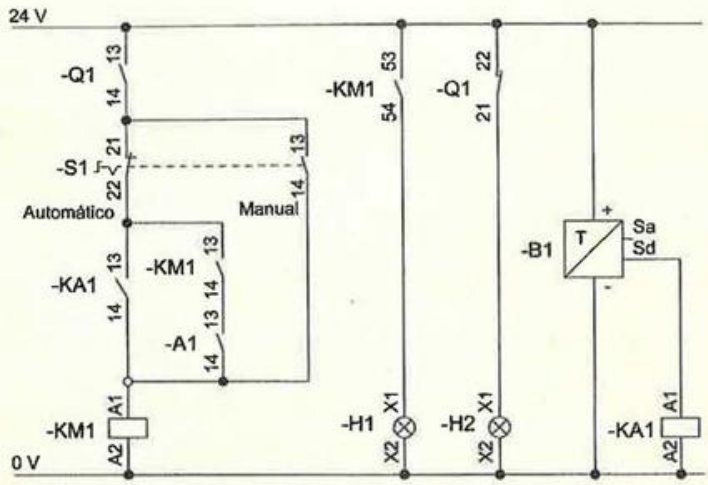
e) El circuito de maniobra se alimenta a una tensión de 24 voltios.

Solución:

Esquema de potencia:



Esquema de maniobra:



Aclaraciones con respecto al funcionamiento:

- El contacto 13-14 del arrancador (A1) detendrá el motor cuando detecte algún problema.
- El puente L+ y LI2 da la orden de arranque del motor.
- El sensor de temperatura tiene dos salidas y se emplea la salida de tipo digital (Sd) o termostática.

8.2.9. Arranque de motores trifásicos en redes monofásicas

Los motores trifásicos en jaula de ardilla pueden ser conectados en redes monofásicos mediante una conexión específica denominada **Steinmetz**.

Este sistema consiste en alimentar al motor únicamente a través de dos de sus fases y colocar un condensador entre una de las fases alimentadas y la fase que queda libre. El condensador cumple la misma función que en los motores de corriente alterna, desfasando el campo magnético para producir un par en el eje que lo haga girar.

El método es aplicable tanto para conexiones en estrella como para conexiones en triángulo.

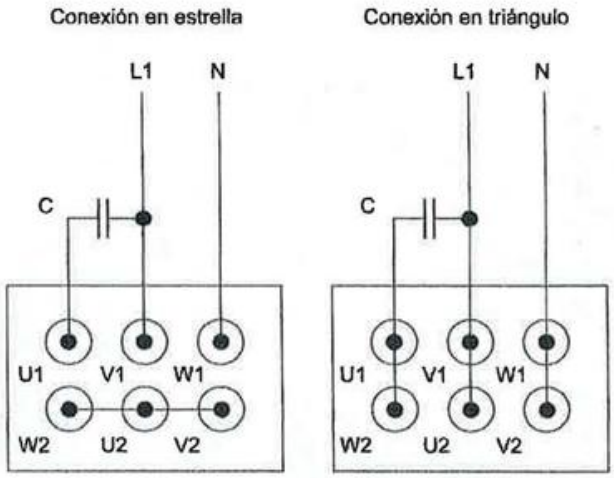


Figura 8.32. *Conexionado de la caja de bornes de motores trifásicos Y-Δ para ser conectados en redes monofásicas.*

Antes de aplicar este método de arranque hay que tener en cuenta unas consideraciones previas, ya que la conexión Steinmetz no se puede realizar en todo tipo de motores:

- Solo se aconseja realizar esta conexión en motores de pequeña potencia, aquella que sea inferior a 4 kW.
- La potencia que desarrollará el motor será del 75 % u 80 % con respecto a la que tendría conectado en una red trifásica.
- El par de arranque disminuirá hasta el 50-70 % del que tendría el motor conectado en una red trifásica.
- La tensión nominal del condensador instalado debe ser de entre 1,15 y 1,25 veces la tensión nominal de la red monofásica, con un mínimo de 250 V. Esto es debido a que va a estar sometido a ciertas sobretensiones.

Cálculo del condensador de arranque

La capacidad del condensador se puede calcular a través de la siguiente fórmula:

$$C = 50 \times P \times \left(\frac{220}{U}\right)^2 \times \frac{50}{f}$$

Donde:

C = capacidad del condensador (μF)
P = potencia en el eje del motor (CV)
U = tensión de alimentación (V)
f = frecuencia de la red (Hz)

Una vez hallado el resultado, se debe escoger el valor normalizado de condensador inmediatamente superior de los que existen en el mercado. Estos son:

Tabla 8.3. Valores normalizados (en μF) de condensadores comerciales.

4	4,5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
25	28	30	32	35	40	45	50	60	65	100

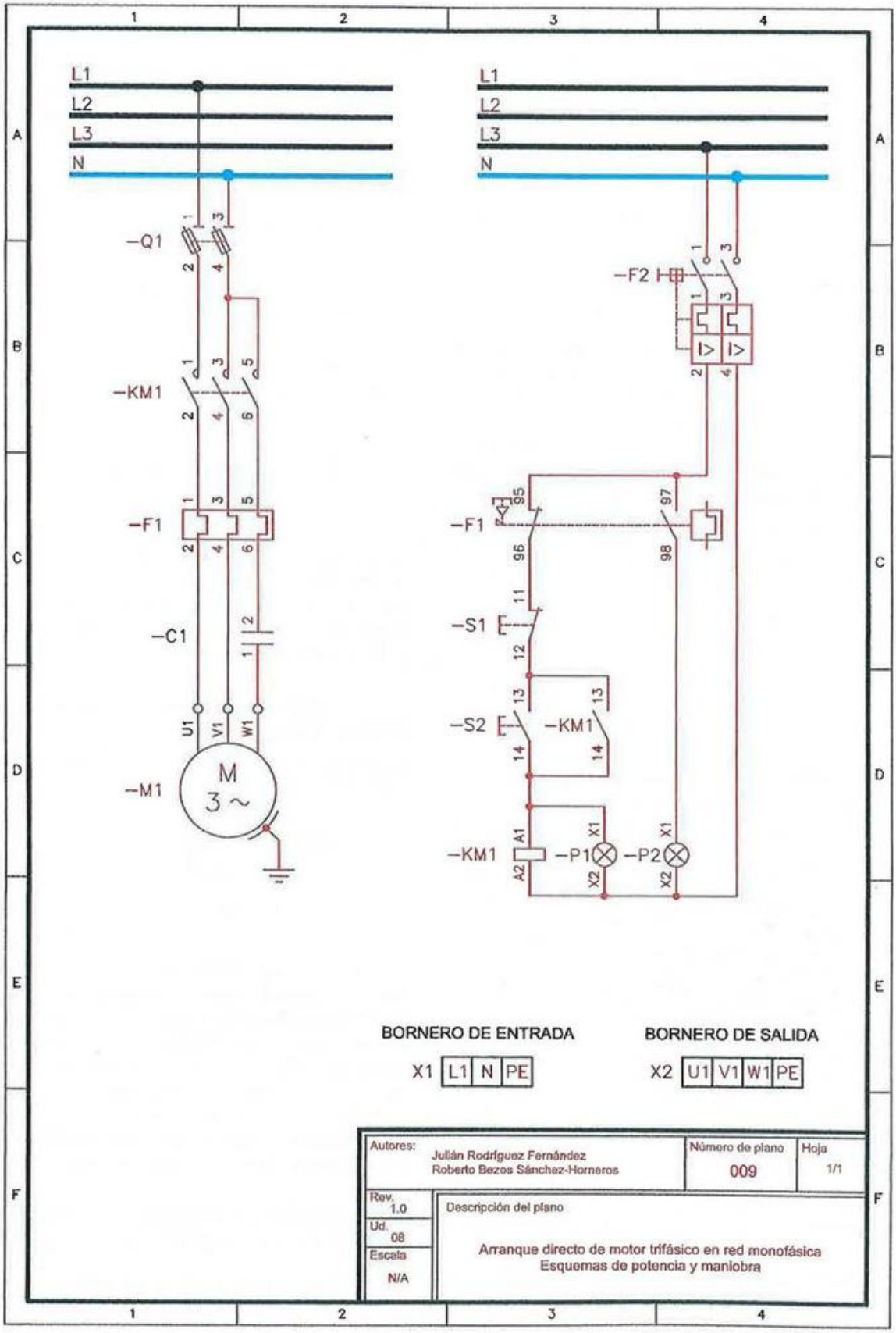
De manera simplificada, y puesto que generalmente las tensiones a las que se conectará el motor serán de 230 o 400 V_{CA}, los valores del condensador por cada kW de potencia del motor se pueden resumir de la siguiente forma:

Tabla 8.4. Método simplificado de cálculo del condensador de arranque.

Tensión de la red monofásica	230 V_{CA}	400 V_{CA}
Capacidad del condensador por cada kW del motor	70 μF	20 μF

Es decir, en el caso más común, si se conecta un motor trifásico a una **red monofásica de 230 V**, la capacidad del condensador deberá ser de **70 μF por cada kW del motor**.

Figura 8.33. *Motor monofásico con condensador de arranque. (Cortesía de ELPROM.)*



BORNERO DE ENTRADA

X1 | L1 | N | PE |

BORNERO DE SALIDA

X2 | U1 | V1 | W1 | PE |

Autores: Julián Rodríguez Fernández, Roberto Bezos Sánchez-Horneros	Número de plano: 009	Hoja: 1/1
Rev.: 1.0	Descripción del plano: Arranque directo de motor trifásico en red monofásica. Esquemas de potencia y maniobra	
Ud.: 08		
Escala: N/A		

8.2.10. Arranque de motores monofásicos con aparamenta trifásica

Para la conexión de motores monofásicos hay que tener en cuenta que la gran mayoría de los contactores y relés térmicos disponibles en la práctica son de tipo trifásico. El arranque de motores monofásicos podría realizarse protegiendo al circuito de potencia con un interruptor automático magnetotérmico bipolar, conmutando el sistema mediante un contactor monofásico de dos polos, pero lo más común es utilizar contactores trifásicos asociados a relés térmicos trifásicos.

En estos casos, la conexión del motor debe realizarse sin dejar ningún borne de los equipos de aparamenta trifásicos sin conectar, especialmente en el caso del relé térmico, ya que todos sus polos deben recibir corriente. Para ello, será necesario que uno de los conductores activos, generalmente la fase, atraviese por duplicado tanto el contactor como el relé térmico, tal como se muestra en la siguiente figura:

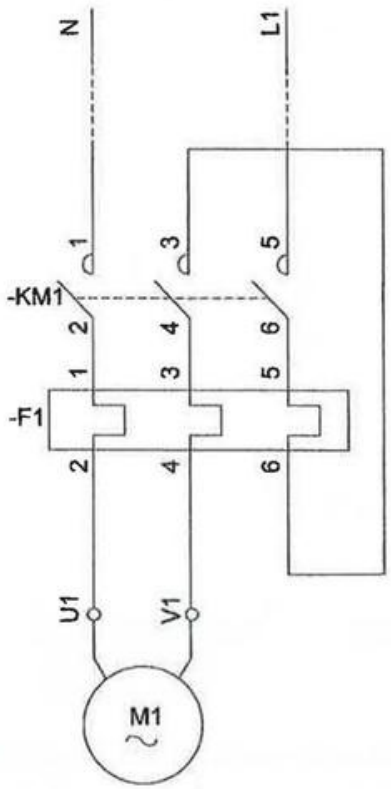


Figura 8.34. *Detalle de la conexión de un motor monofásico con contactor y relé térmico trifásico.*

Este método, aunque no parezca muy apropiado, realmente aumenta la seguridad del circuito de potencia, ya que el relé térmico efectúa dos medidas sobre la misma fase.

Actividad propuesta 8.4

Realiza el esquema de potencia y maniobra completo para el arranque de un motor monofásico a través de pulsadores de paro/marcha, mediante un contactor y un relé térmico trifásico.

La protección magnética del circuito de potencia se realizará mediante seccionador con fusible, la protección del circuito de maniobra mediante interruptor automático magnetotérmico de dos polos (polo + neutro).

Debes ubicar también las lámparas indicadoras de marcha del motor y disparo térmico.

Todos los dispositivos, equipos y materiales del esquema, así como el bornero de entrada y salida, deben quedar correctamente marcados e identificados.

8.2.11. Arranque de motores de corriente continua

Al igual que ocurre con los motores de corriente alterna, el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, establece, para motores de corriente continua, los siguientes límites admisibles de intensidad en el arranque con respecto a la intensidad nominal del motor:

Tabla 8.5. Límite admisible de intensidad en el arranque para motores de corriente continua.

Potencia del motor	I_a/I_n
$P \leq 0{,}75$ kW	No aplica
0,75 kW $< P \leq$ 1,5 kW	2,5
1,5 kW $< P \leq$ 5,0 kW	2,0
$P >$ 5,0 kW	1,5

En la mayoría de los motores de corriente continua, dado que no suelen ser de gran potencia, el método más utilizado para reducir la intensidad en el arranque es la colocación, **en serie con el devanado inducido**, de una o varias **resistencias fijas** o, más frecuentemente, una **resistencia variable o reóstato**. Es un método similar al ya estudiado para motores trifásicos basado en resistencias rotóricas, y de igual manera, una vez que el motor ha alcanzado la estabilidad, la carga resistiva debe ser anulada.

RECUERDA

La potencia de los motores puede medirse en vatios (W), caballos de vapor (CV) o caballos de potencia (HP).

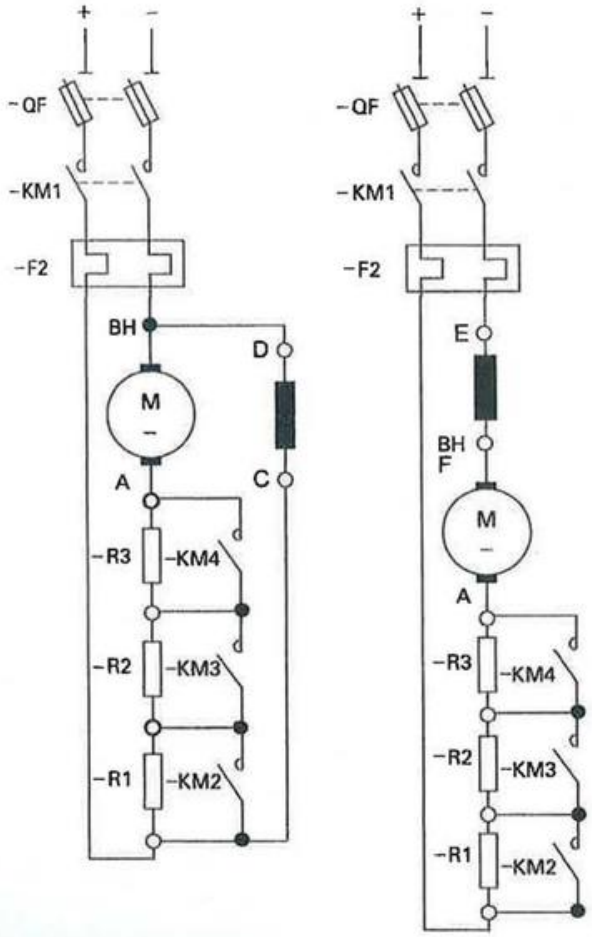


Figura 8.35. *Esquemas de potencia para el arranque de dos motores de corriente continua (serie y derivación) mediante bloques de resistencias.*

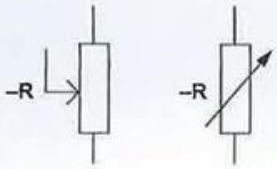


Figura 8.36. *Símbolos representativos de un reóstato.*

Figura 8.37. *Reóstato circular de arranque para motores de alta potencia, hasta 7 kW.*

El valor resistivo del reóstato se calculará en función del cumplimiento de los valores límites de intensidad en el arranque expresados en la Tabla 8.5. Conocido este dato, se puede proceder al cálculo de la resistencia a partir de la siguiente ecuación:

$$R_a = \frac{U}{I_a} - r_i$$

Siendo:

R_a = resistencia de arranque (valor del reóstato) (Ω)

U = tensión de alimentación (V)

I_a = intensidad deseada en el arranque (A)

r_i = resistencia interna del motor (Ω)

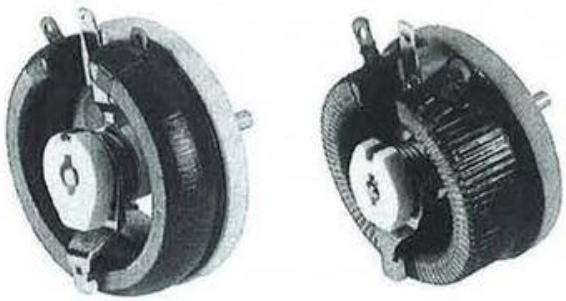


Figura 8.38. *Reóstato circular de arranque para motores de baja potencia, hasta 0,25 kW.*

SABÍAS QUE

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece las siguientes prescripciones relacionadas con las resistencias de arranque de motores:

- Los reóstatos de arranque y regulación de velocidad y las resistencias adicionales de los motores, se colocarán de modo que estén separados de los muros 5 cm como mínimo.
- Deben estar dispuestos de manera que no puedan causar deterioros como consecuencia de la radiación térmica o por acumulación de polvo, tanto en servicio normal como en caso de avería.
- Se montarán de manera que no puedan quemar las partes combustibles del edificio ni otros objetos combustibles; si esto no fuera posible, los elementos combustibles llevarán un revestimiento ignífugo.
- Los reóstatos y las resistencias deberán poder ser separadas de la instalación por dispositivos de corte omnipolar, que podrán ser los interruptores generales del receptor correspondiente.

8.3. Inversión de giro en motores eléctricos

Durante el funcionamiento de las aplicaciones y procesos basados en motores, ya sean trifásicos, monofásicos o de corriente continua, puede resultar necesario invertir el sentido de giro del motor. Puertas eléctricas que suben y bajan, cintas transportadoras que se desplazan a derecha e izquierda o equipos mezcladores de fluidos de dos movimientos son algunos ejemplos de estas aplicaciones.

Los métodos para realizar la inversión de giro de un motor eléctrico se exponen a continuación:

8.3.1. Inversión de giro en motores trifásicos

La inversión de giro en motores trifásicos se realiza intercambiando dos de las tres fases que suministran tensión al estátor. De esta manera se invierte el sentido de giro de los campos magnéticos, y en consecuencia, el sentido de giro en el rotor.

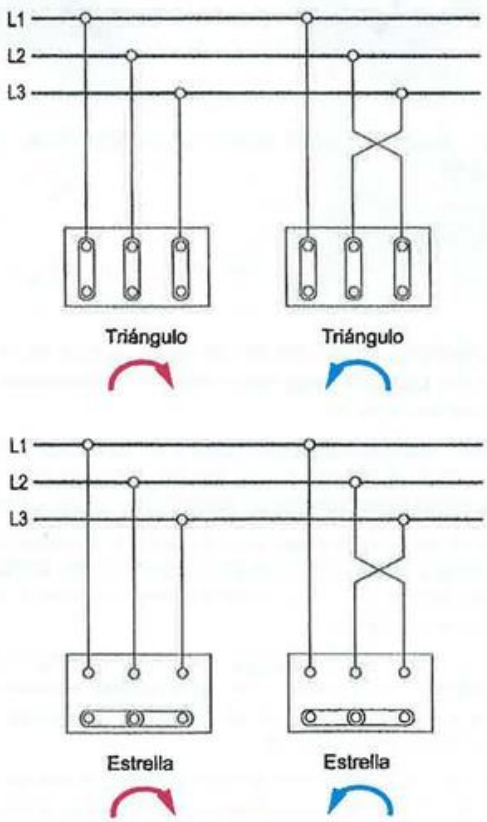


Figura 8.39. *Representación de la inversión del sentido de giro en motores trifásicos.*

Resulta indiferente cuáles de las fases sean las conmutadas, pero debe tenerse en cuenta que en caso de intercambiar por error las tres fases, el motor mantendría el sentido de giro original. También resulta indiferente el tipo de motor y su conexión.

El sentido de giro puede realizarse mediante lógica cableada utilizando un interruptor de tres posiciones, o bien, mediante dos contactores que realicen la conmutación de las fases a través de pulsadores tal como se muestra en el siguiente esquema de detalle. Los contactores, como es evidente, deben estar **enclavados** o de lo contrario podría producirse un cortocircuito franco entre fases en bornes del contactor si la maniobra no se ejecuta correctamente.

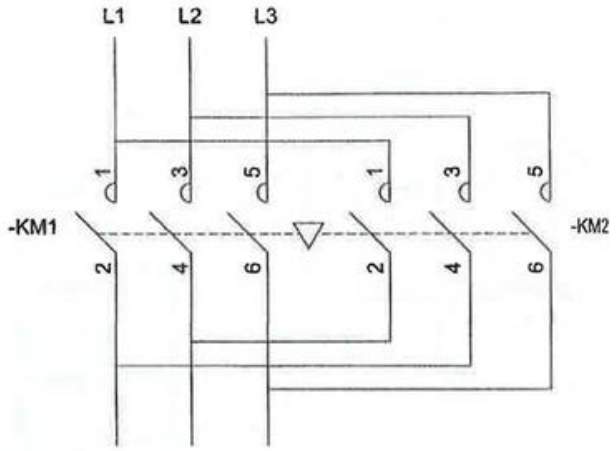


Figura 8.40. *Detalle del conexionado de contactores para la inversión de giro de un motor trifásico (inversión entre L1 y L2 con enclavamiento mecánico).*

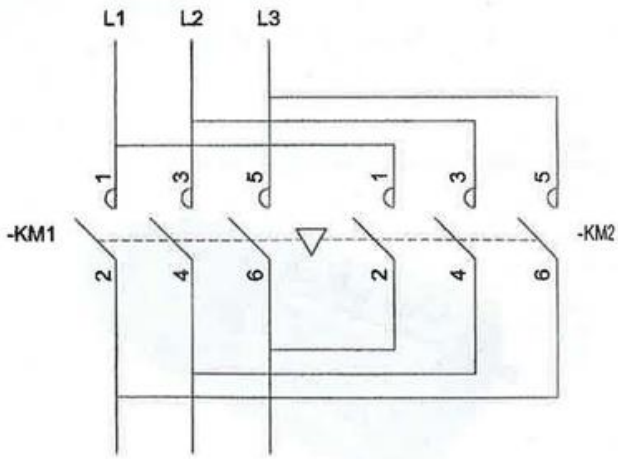
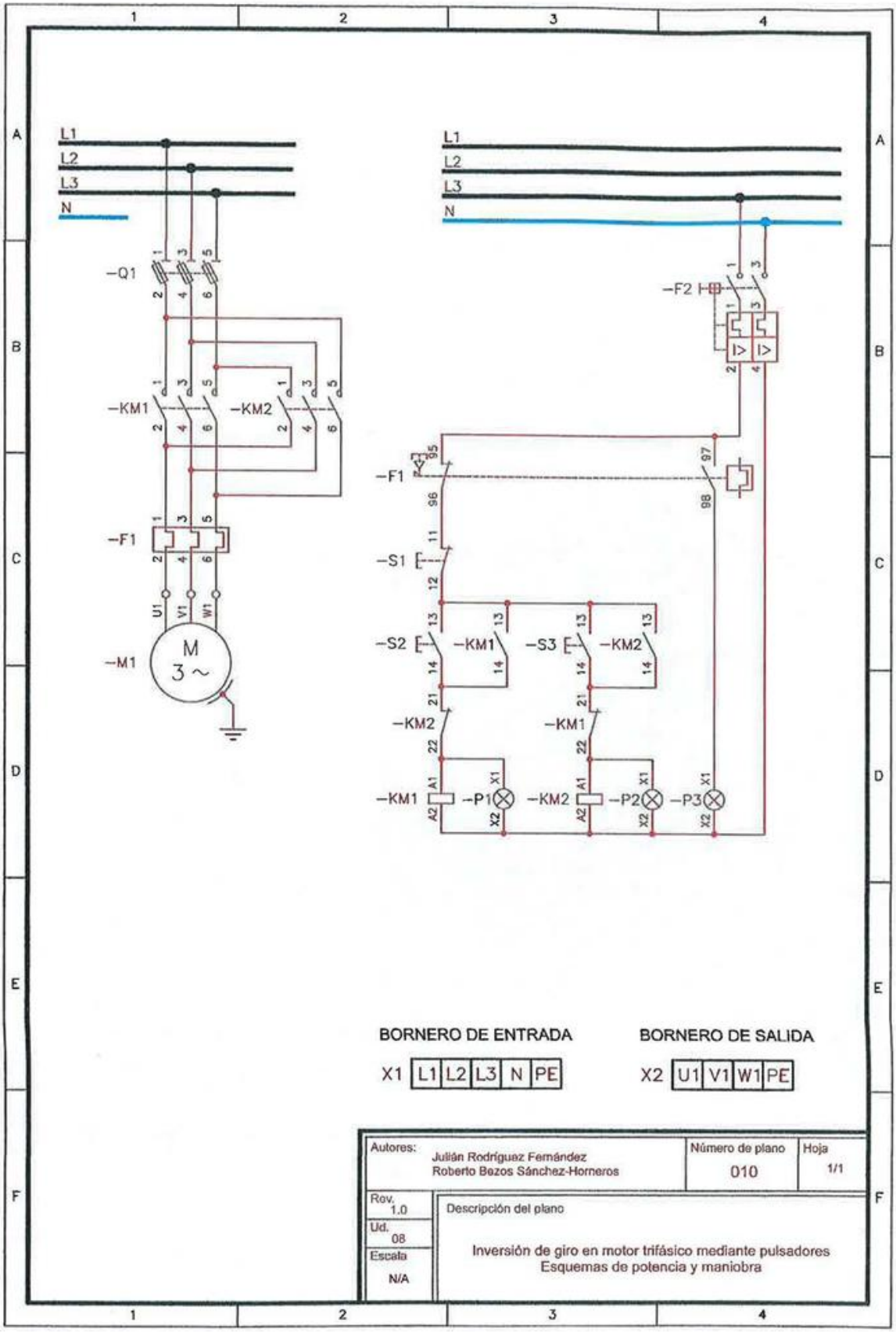
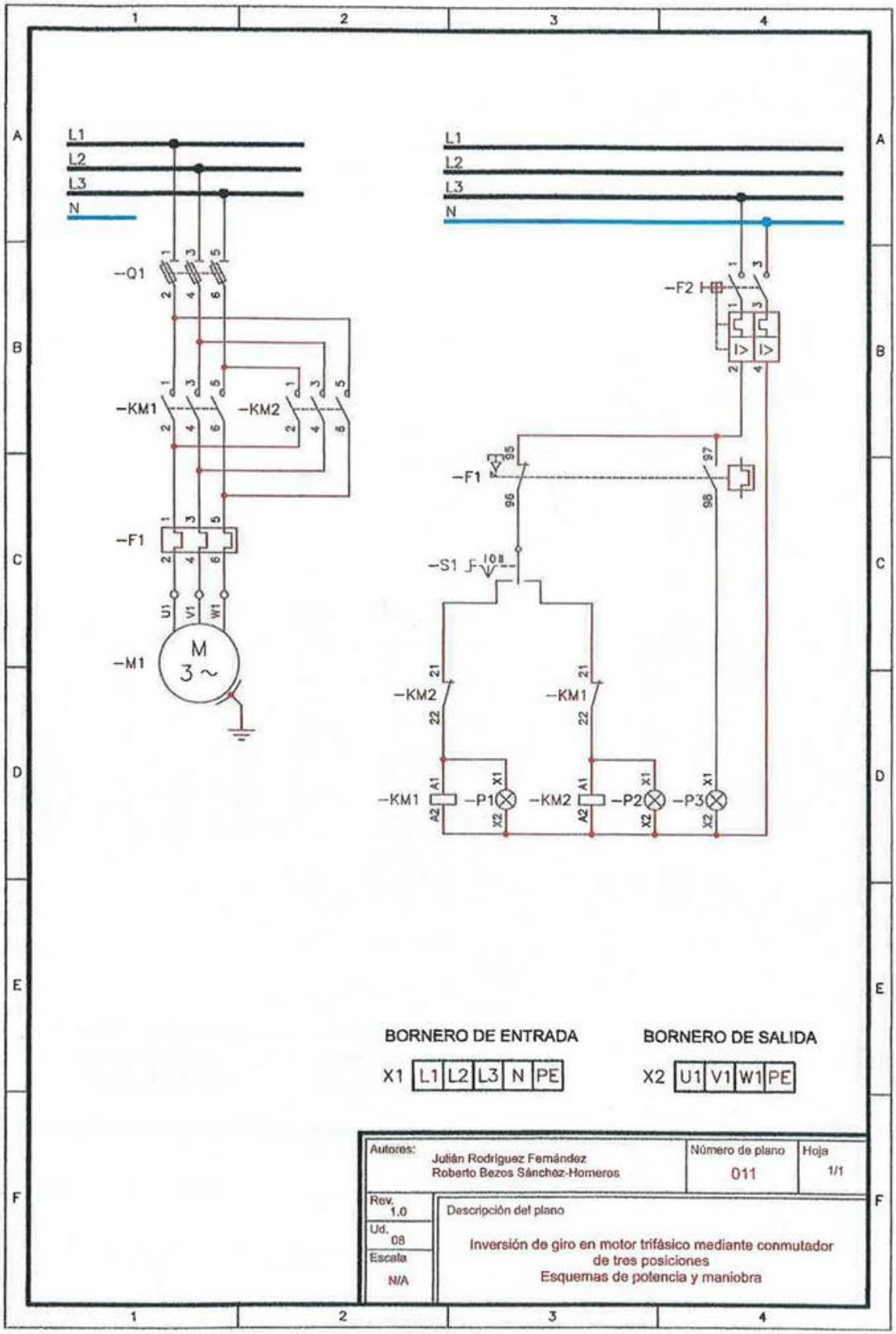


Figura 8.41. *Detalle del conexionado de contactores para la inversión de giro de un motor trifásico (inversión entre L1 y L3 con enclavamiento mecánico).*


L1
L2
L3
N
-Q1
-KM1
-KM2
-F1
-M1
M
3 ~
U1
V1
W1
-F2
-S1
-S2
-S3
-P1
-P2
-P3
BORNERO DE ENTRADA
X1 L1 L2 L3 N PE
BORNERO DE SALIDA
X2 U1 V1 W1 PE
Autores: Julián Rodríguez Fernández
Roberto Bezos Sánchez-Horneros
Número de plano 010
Hoja 1/1
Rev. 1.0
Ud. 08
Escala N/A
Descripción del plano
Inversión de giro en motor trifásico mediante pulsadores
Esquemas de potencia y maniobra


L1
L2
L3
N
-Q1
-KM1
-KM2
-F1
-M1
M
3 ~
U1
V1
W1
-F2
-S1
-P1
-P2
-P3
BORNERO DE ENTRADA
X1 L1 L2 L3 N PE
BORNERO DE SALIDA
X2 U1 V1 W1 PE
Autores: Julián Rodríguez Fernández
Roberto Bezos Sánchez-Homeros
Número de plano 011
Hoja 1/1
Rev. 1.0
Ud. 08
Escala N/A
Descripción del plano
Inversión de giro en motor trifásico mediante conmutador de tres posiciones
Esquemas de potencia y maniobra

8.3.2. Inversión de giro en motores monofásicos

En los motores de corriente alterna monofásicos la inversión de giro se consigue invirtiendo las dos líneas de alimentación del motor (fase por neutro).

En el caso de motores monofásicos con bobinado auxiliar de arranque, se deberán invertir los conductores de alimentación de solo **uno de los bobinados**, que generalmente corresponderá al auxiliar.

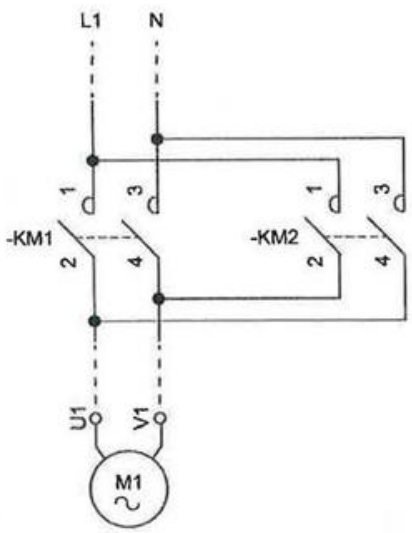


Figura 8.42. *Inversión de giro de un motor monofásico.*

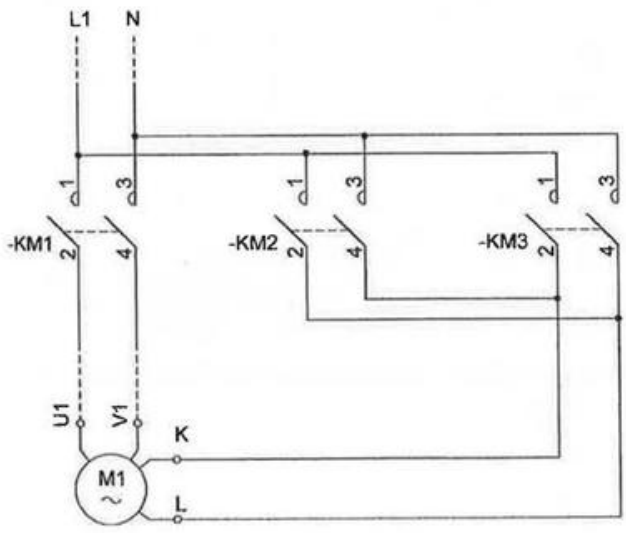


Figura 8.43. *Detalle del conexionado para la inversión de giro de un motor monofásico con bobinado auxiliar de arranque.*

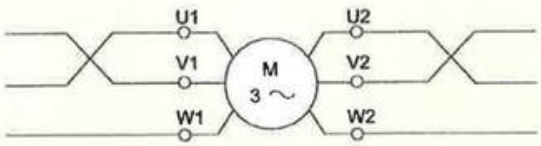
Actividad resuelta 8.2

¿Cómo recablearías un motor trifásico conectado para ser arrancado en estrella-triángulo, si quieras cambiar el sentido de giro del mismo?

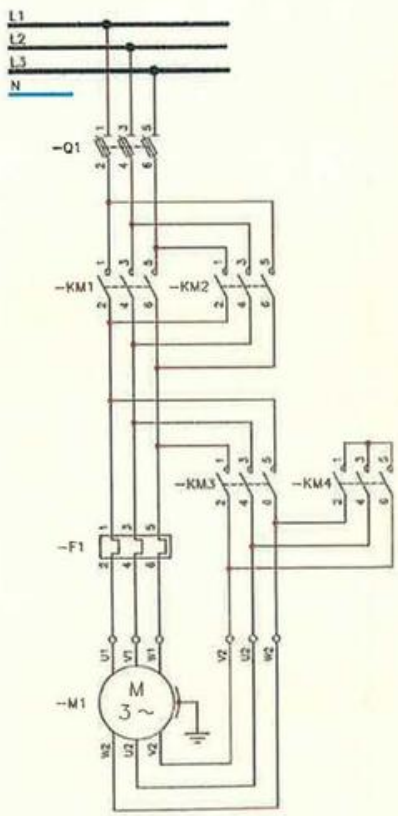
Explica la solución adoptada y realiza los esquemas de potencia y maniobra asociados al arranque estrella-triángulo con inversión de giro.

Solución:

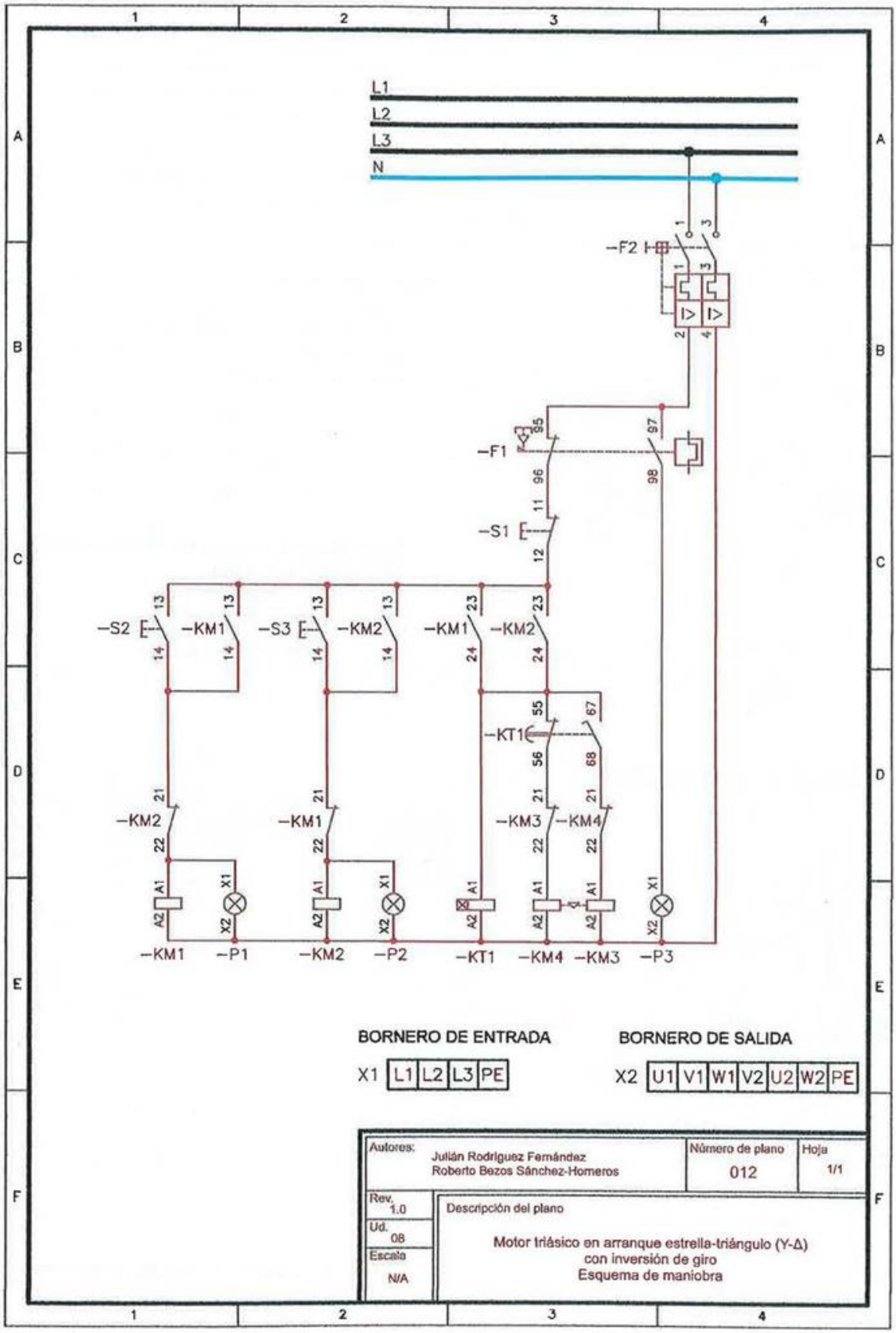
El cableado aconsejado para invertir el sentido de rotación del motor es el que se muestra a continuación. Hay que tener en cuenta que el sentido de giro debe estar invertido tanto para la conexión en estrella como para la conexión en triángulo.



El esquema de potencia completo quedaría representado de la siguiente manera:



En lo que respecta al esquema de maniobra, la solución adoptada se muestra en el Plano 012.


L1
L2
L3
N
-F2
-F1
-S1
-S2
-KM1
-S3
-KM2
-KM1
-KM2
-KT1
-KM2
-KM1
-KM3
-KM4
-KM1
-P1
-KM2
-P2
-KT1
-KM4
-KM3
-P3
BORNERO DE ENTRADA
X1 L1 L2 L3 PE
BORNERO DE SALIDA
X2 U1 V1 W1 V2 U2 W2 PE
Autores: Julián Rodríguez Fernández
Roberto Bezos Sánchez-Homeros
Número de plano 012
Hoja 1/1
Rev. 1.0
Ud. 08
Escala N/A
Descripción del plano
Motor trifásico en arranque estrella-triángulo (Y-Δ) con inversión de giro
Esquema de maniobra

8.3.3. Inversión de giro en motores de corriente continua

El método teórico para llevar a cabo la inversión de giro en motores de corriente continua se basa en invertir la polaridad de la corriente que circula por los devanados del inductor o del inducido. Evidentemente, si se permuta la polaridad en ambos bobinados, el eje del motor gira en el mismo sentido.

En la práctica, lo más común y conveniente es **invertir la polaridad de las conexiones del inducido**. A continuación se muestran algunos esquemas de potencia para realizar la inversión del sentido de giro en motores de corriente continua.

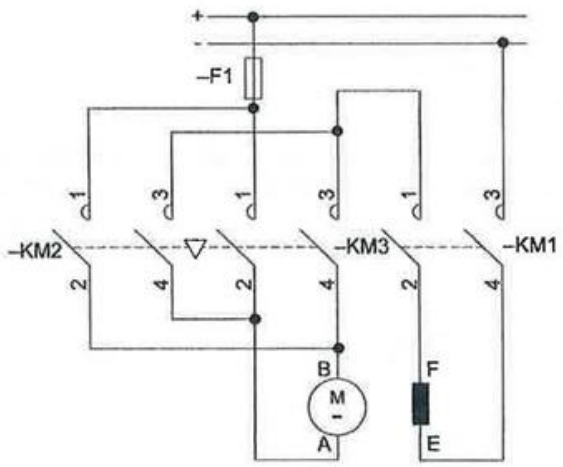


Figura 8.44. *Inversión de giro en motores de CC de excitación serie.*

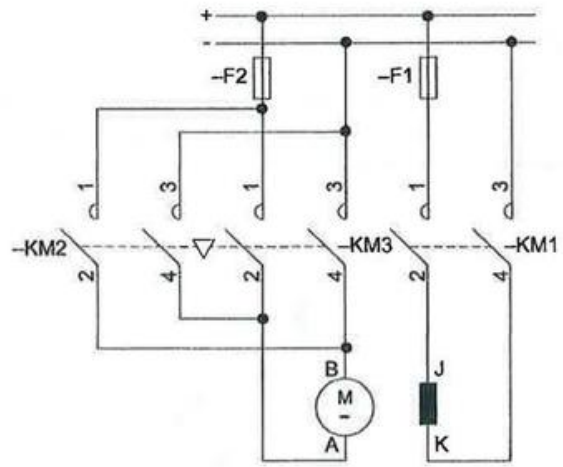


Figura 8.45. *Inversión de giro en motores de CC de excitación independiente.*

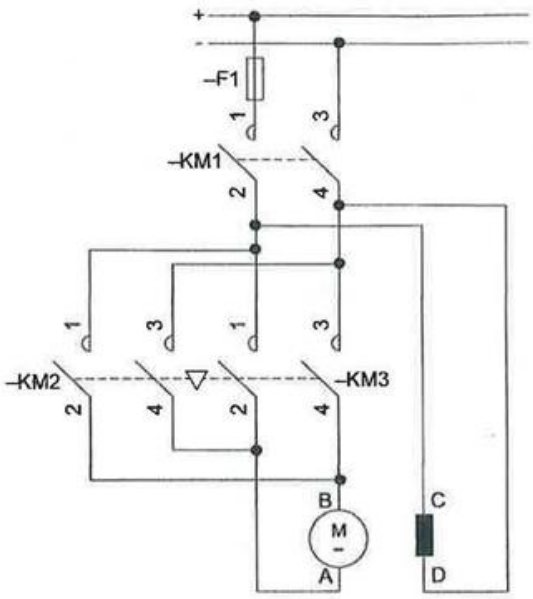


Figura 8.46. *Inversión de giro en motores de CC de excitación* shunt.

Actividad propuesta 8.5

Observa los circuitos de potencia mostrados para realizar la inversión del sentido giro en motores de corriente continua de excitación serie, independiente y *shunt*.

Realiza el esquema completo de maniobra asociado a estos circuitos, suponiendo que el cambio en el sentido de giro se realiza desde dos pulsadores de marcha independientes, una vez el motor ha sido detenido mediante un tercer pulsador de paro.

8.4. Sistemas de variación de velocidad en motores de corriente alterna

Puesto que la velocidad de un motor de corriente alterna, sea de tipo trifásico o monofásico, depende únicamente de la frecuencia de la red y de los pares de polos del estátor, la variación de la velocidad en este tipo de máquinas estaba muy limitada hasta la aparición en el mercado de los variadores electrónicos de frecuencia.

La regulación clásica de la velocidad en este tipo de motores consiste en utilizar varios grupos de devanados internos, o un solo grupo de bobinas partidas por bornes intermedios. De hecho, hasta la revolución de la electrónica, los motores de corriente continua han sido los más utilizados para aplicaciones que requerían una regulación de la velocidad de trabajo.

SABÍAS QUE

A pesar de que los motores de corriente continua han quedado relegados a un segundo plano desde la entrada en el mercado de la electrónica de potencia, todavía se siguen utilizando en grandes máquinas que requieren un control total de la velocidad, como es el caso de algunos tranvías o trenes.

Una gran parte de los procesos y motores utilizados en las instalaciones industriales funcionan a velocidades variables. Actualmente, la regulación de la velocidad en máquinas rotativas de corriente alterna se consigue mediante alguno de estos métodos:

- Lógica cableada, entre los que destacan los motores de dos velocidades y el motor Dahlander.
- Lógica digital, con variadores electrónicos de frecuencia.

8.4.1. Motor trifásico de inducción de dos velocidades

Este tipo de motores dispone de **dos grupos de bobinas independientes** cada uno con un número de espiras diferente que hace que la intensidad de campo magnético generado sea diferente en función del grupo que sea conectado a la red.

Cada grupo de bobinas, por tanto, poseerá una velocidad distinta, que debe ser especificada por el fabricante. En función de la velocidad que se desee escoger, se alimentarán los bobinados correspondientes a uno u otro grupo de bobinas.

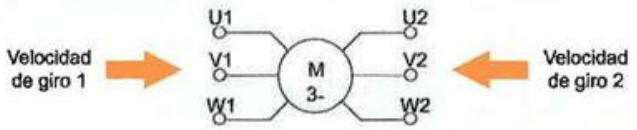


Figura 8.47. *Principio de funcionamiento de un motor de dos velocidades.*

Como es obvio, no resulta posible alimentar los dos grupos de bobinas del motor de manera simultánea, puesto que esto provocaría casi con total seguridad daños irreversibles en la máquina. Para evitar que esto suceda de manera accidental, las maniobras entre contactores deben estar enclavadas.

8.4.2. Motor trifásico de inducción tipo Dahlander

Un motor trifásico en conexión Dahlander, posee la característica especial de poder trabajar en dos velocidades nominales distintas con **un único grupo de bobinas**. Esto se consigue dividiendo cada uno de los devanados por la mitad y sacando de ese punto intermedio tres bornes, lo que equivale a dividir los polos por la mitad. Al tener la mitad de polos, el motor girará al doble de velocidad, por lo que **las dos velocidades del motor Dahlander siempre serán una el doble que la otra.**

La **conexión del motor en la velocidad lenta** consiste en alimentar únicamente los extremos de las bobinas (U1-V1-W1).

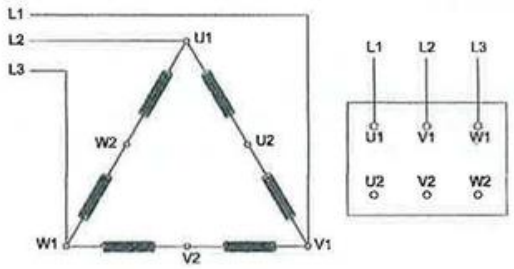


Figura 8.48. *Representación de las conexiones del motor Dahlander en velocidad lenta.*

Las **conexiones del motor para la velocidad rápida** consisten, por un lado, en alimentar las bobinas por la parte central de las mismas (U2-V2-W2), y por otro lado, en cortocircuitar en forma de estrella los extremos (U1-V1-W1).

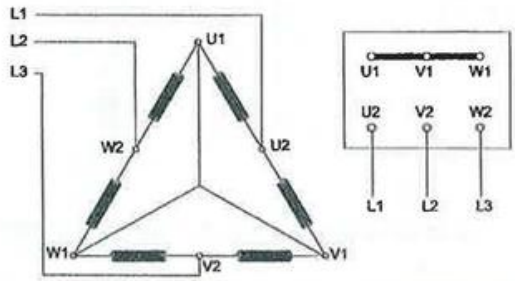


Figura 8.49. *Representación de las conexiones del motor Dahlander en velocidad rápida.*

Con la velocidad rápida, el circuito equivalente resultante sería el que se muestra a continuación, con el número de pares de polos reducido a la mitad.

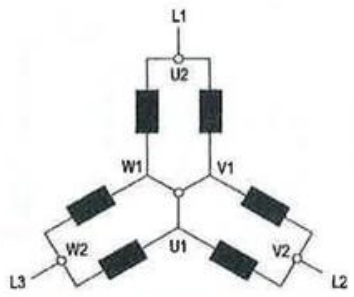
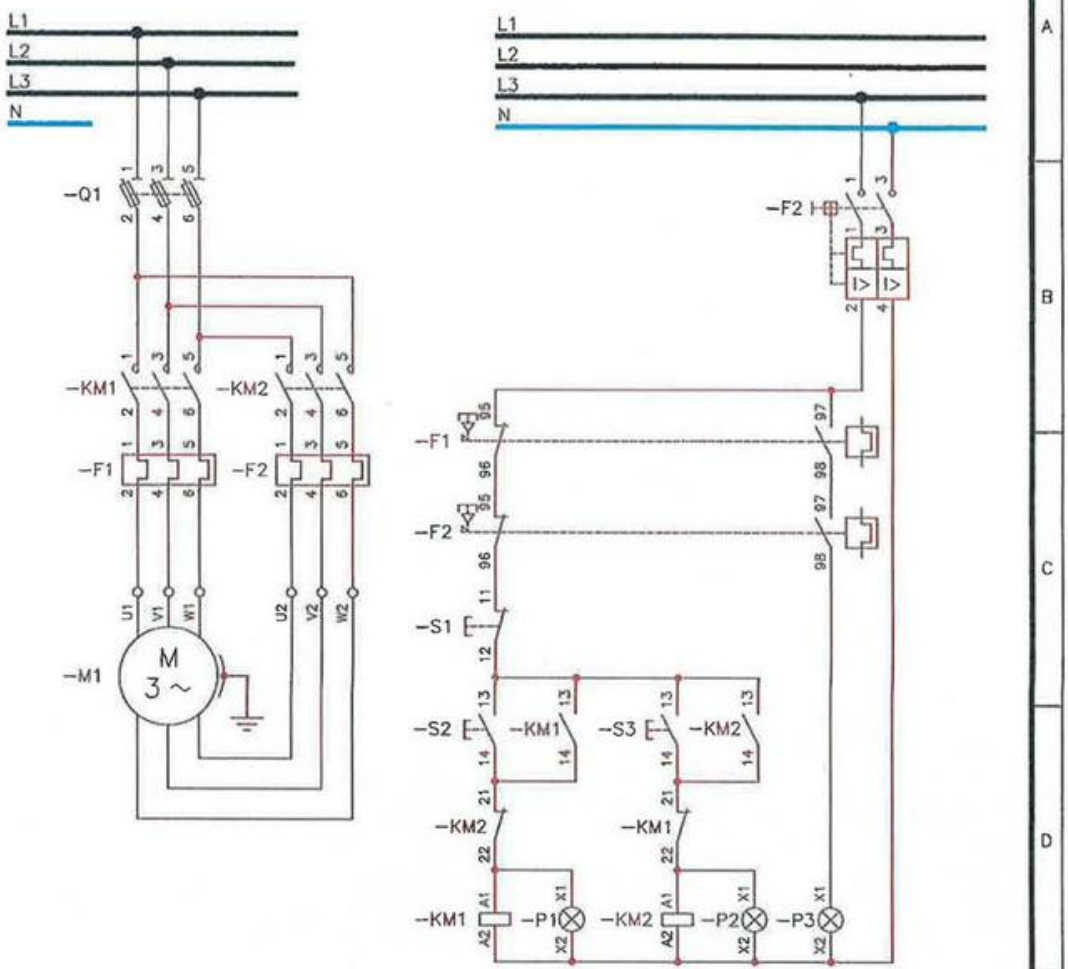
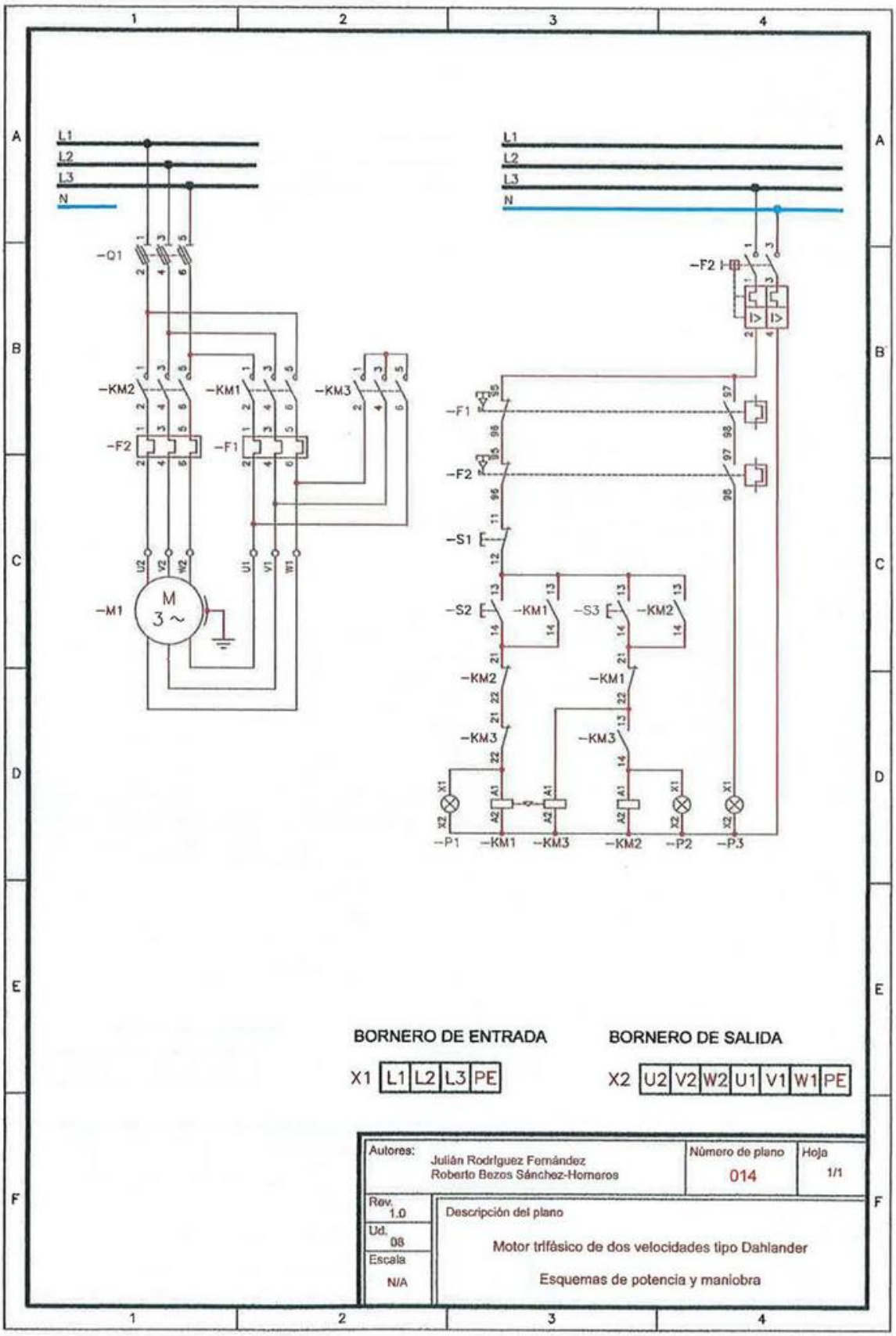


Figura 8.50. *Circuito equivalente de los bobinados en velocidad rápida.*



Autores: Julián Rodríguez Fernández, Roberto Bezos Sánchez-Horneros		Número de plano: 013	Hoja: 1/1
Rev. 1.0	Descripción del plano: Motor trifásico de dos velocidades. Esquemas de potencia y maniobra		
Ud. 08			
Escala N/A			



BORNERO DE ENTRADA

X1 | L1 | L2 | L3 | PE |

BORNERO DE SALIDA

X2 | U2 | V2 | W2 | U1 | V1 | W1 | PE |

Autores: Julián Rodríguez Fernández, Roberto Bezos Sánchez-Homeros		Número de plano: 014	Hoja: 1/1
Rev. 1.0	Descripción del plano: Motor trifásico de dos velocidades tipo Dahlander. Esquemas de potencia y maniobra		
Ud. 08			
Escala N/A			

8.4.3. Variadores de frecuencia. Regulación electrónica de la velocidad

Dado que la velocidad de un motor de corriente alterna depende directamente de la frecuencia, los sistemas y accionamientos de velocidad variable han estado desde siempre asociados a los motores de corriente continua, ya que su control resulta más sencillo, dejando relegados a los motores de corriente alterna a trabajos y aplicaciones de velocidad constante.

La aparición a nivel industrial de los componentes electrónicos de potencia, sin embargo, ha hecho llegar en la actualidad a la fabricación de equipos capaces de controlar la velocidad de las máquinas de corriente alterna, modificando la frecuencia de entrada al motor. Este hecho, unido al difícil y costoso mantenimiento asociado a los motores de corriente continua, ha propiciado que en la actualidad la mayoría de los procesos y aplicaciones que requieren variaciones de velocidad estén gobernados por variadores electrónicos de frecuencia (también llamados convertidores de frecuencia) asociados a motores alimentados en corriente alterna.

Figura 8.51. *Variadores de velocidad para motores CA de pequeña potencia. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 8.52. *Variador de velocidad para motores CA de alta potencia. (Cortesía de Mitsubishi.)*

El principio de funcionamiento de la mayoría de los variadores de velocidad electrónicos para motores de corriente alterna monofásicos y trifásicos, se basa en la denominada técnica de modulación por anchura de pulsos (PWM), mediante la cual se modifica la frecuencia de entrada al motor. Para realizar esta tarea, utiliza dispositivos electrónicos tales como diodos, rectificadores, onduladores, transistores y filtros pasivos, que básicamente, se encargan de transformar una onda de corriente alterna en corriente continua, *trocearla* en ciclos por impulsos y volver a transformarla en una onda de corriente alterna. El número de ciclos por segundo obtenidos equivale a la nueva frecuencia.

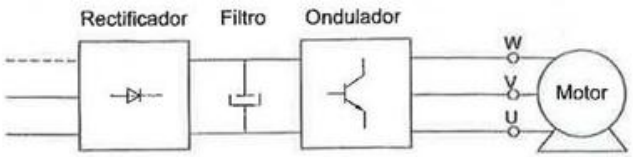


Figura 8.53. *Principio de funcionamiento de un variador de velocidad.*

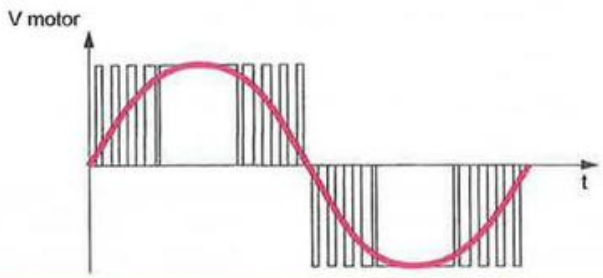


Figura 8.54. *Onda de corriente alterna obtenida a partir del corte por medio de impulsos de la tensión rectificada.*

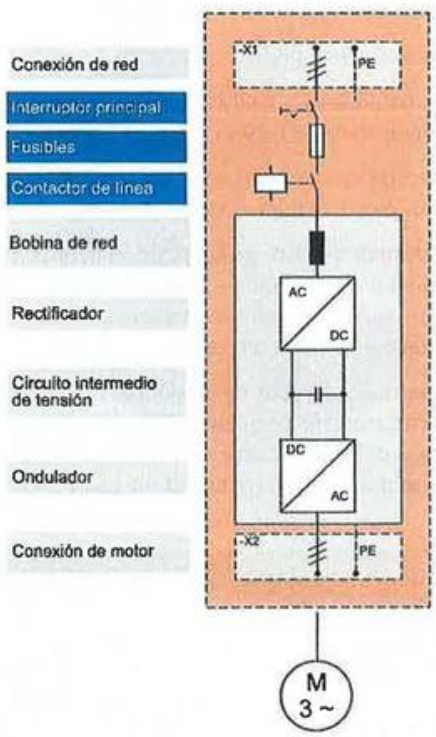


Figura 8.55. *Detalle esquemático de un convertidor de frecuencia integrado en un cuadro eléctrico.*

Los convertidores de frecuencia, además de poder regular la velocidad de los motores, generalmente tienen otras funciones integradas para llevar a cabo el control de estas máquinas:

- Función de **arrancador** electrónico.
- Control y variación de **aceleración**.
- Control y variación de **velocidad**.
- Función de **frenado** o deceleración de motor.
- Regulación de la intensidad de arranque.
- Control del par motor.
- Conmutación de máquina (control de marcha/paro).
- Rearme a distancia.
- Indicador de la carga del motor.
- Función de histórico y monitorización.
- Protección frente a cortocircuitos y sobrecargas.
- Seccionamiento de la red de alimentación.

La principal desventaja de los convertidores de frecuencia con respecto a los métodos de variación de la velocidad basados en lógica cableada es su elevado precio, la necesidad de programación y el hecho de que generan armónicos y perturbaciones a la red durante su funcionamiento. Sin embargo, las ventajas que ofrecen son numerosas, como por ejemplo:

- Control sencillo de la velocidad.
- Mínimo coste de mantenimiento.
- Ahorro de energía al poder definir cuándo la máquina deja de trabajar o cuándo reduce la velocidad.
- Mejora de la calidad en los procesos al poder realizar arranques y frenados suaves.

Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en máquinas y cintas transportadoras, ventiladores, bombas, aparatos elevadores, prensas mecánicas, compresores y un largo etcétera.

La conexión de este tipo de dispositivos, al igual que ocurría en el caso de los arrancadores electrónicos, depende del modelo y del fabricante, por lo que será necesario consultar la hoja de características del variador en cada caso.

SABÍAS QUE

También resulta posible variar la velocidad de los motores de corriente continua utilizando variadores electrónicos. No obstante, para motores CC de media y baja potencia, el método más utilizado de regulación de velocidad consiste en intercalar un reóstato en el circuito que limite la intensidad de alimentación. A menor intensidad, menor velocidad de giro.

8.5. Frenado de motores eléctricos

En todos los esquemas y circuitos analizados hasta este punto, la parada del motor alimentado por el automatismo se realiza por deceleración de manera natural, es decir, una vez se deja de suministrar energía al estátor del motor, este sigue girando por inercia y reduce la velocidad poco a poco hasta que se detiene por el efecto del rozamiento mecánico y del par resistente.

En determinados procesos industriales, sin embargo, puede resultar necesario controlar el frenado de un motor, ya sea de manera **gradual controlada** o **inmediata por bloqueo**. Para estas aplicaciones será necesario disponer de sistemas automatizados de frenado, de entre los que destacan los mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 8.6. Tipos de frenado de máquinas eléctricas rotativas.

Motores síncronos	Frenado regenerativo	
	Frenado por contracorriente	
Motores asíncronos	Frenado dinámico	Frenado regenerativo
		Frenado reostático
	Frenado por contracorriente	
	Frenado por inyección de corriente continua	
	Frenado electromecánico	

El frenado de tipo dinámico es más utilizado para los motores eléctricos que mueven máquinas de tracción, como las locomotoras o los coches híbridos. Consiste en reducir la velocidad del motor utilizándolo como generador. Si la energía generada se disipa en forma de calor en una resistencia será de tipo reostático y si la energía se devuelve a la red o se almacena en baterías eléctricas, será de tipo regenerativo.

SABÍAS QUE

En la Fórmula 1 se utiliza el término *KERS* para referirse a un dispositivo que aprovecha la energía almacenada durante el frenado regenerativo del vehículo.

En las instalaciones de automatismos industriales, los sistemas de frenado de motores más utilizados son el frenado por contracorriente, el frenado por inyección de corriente continua y el frenado electromecánico. Estos sistemas de frenado pueden estar gobernados por automatismos basados en lógica cableada o por sistemas electrónicos como los variadores de frecuencia. A continuación se definen las características más importantes de los mismos.

8.5.1. Frenado por contracorriente

El método de frenado por contracorriente consiste en reconectar el motor a la red eléctrica en sentido de giro inverso, mientras sigue en movimiento tras haber sido desconectado. De esta manera se consigue un par opuesto al funcionamiento del motor que produce la frenada.

Se trata de un método muy eficaz, pero es necesario disponer de dispositivos que controlen la velocidad del motor para que se detenga con la antelación suficiente, evitando que comience a girar en sentido contrario. Algunos de estos dispositivos son los detectores de parada de fricción, detectores de parada centrífugos, dispositivos cronométricos o tacómetros.

Si este tipo de frenado se ejecuta mediante lógica cableada, el circuito de fuerza es similar a los ya estudiados para realizar la inversión del sentido de giro de los motores asíncronos y el circuito de maniobra difiere en que se debe utilizar un pulsador de doble cámara para realizar el paro y activar el sistema de contracorriente.

Existe una variante de este método que se denomina **frenado por contracorriente suavizado**, y consiste en añadir un grupo de resistencias estatóricas para reducir los efectos bruscos que produce la inversión. Este es el método más utilizado en la práctica, ya que el frenado por contracorriente normal puede llegar a provocar daños en la máquina.

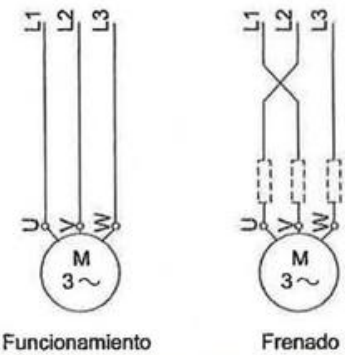


Figura 8.56. *Principio de funcionamiento del frenado por contracorriente.*

8.5.2. Frenado por inyección de corriente continua

Este sistema de frenado consiste enviar corriente continua rectificada al estator del motor, una vez ha sido desconectado de la red, generando un campo magnético que acaba bloqueando el rotor. El valor de corriente debe equivaler aproximadamente a 1,3 veces la corriente nominal de funcionamiento.

En automatismos de lógica cableada, la fuente de corriente continua suele obtenerse conectando un equipo específico (compuesto por un rectificador y un transformador) a dos de las tres fases de alimentación del motor a través de dos grupos de contactores.

La principal ventaja que ofrece este método con respecto al frenado por contracorriente radica en que no es necesario controlar que el motor vuelva a arrancar en sentido contrario. Además, con los variadores y arrancadores electrónicos actuales, esta posibilidad de frenado se ofrece por defecto.

8.5.3. Frenado electromecánico

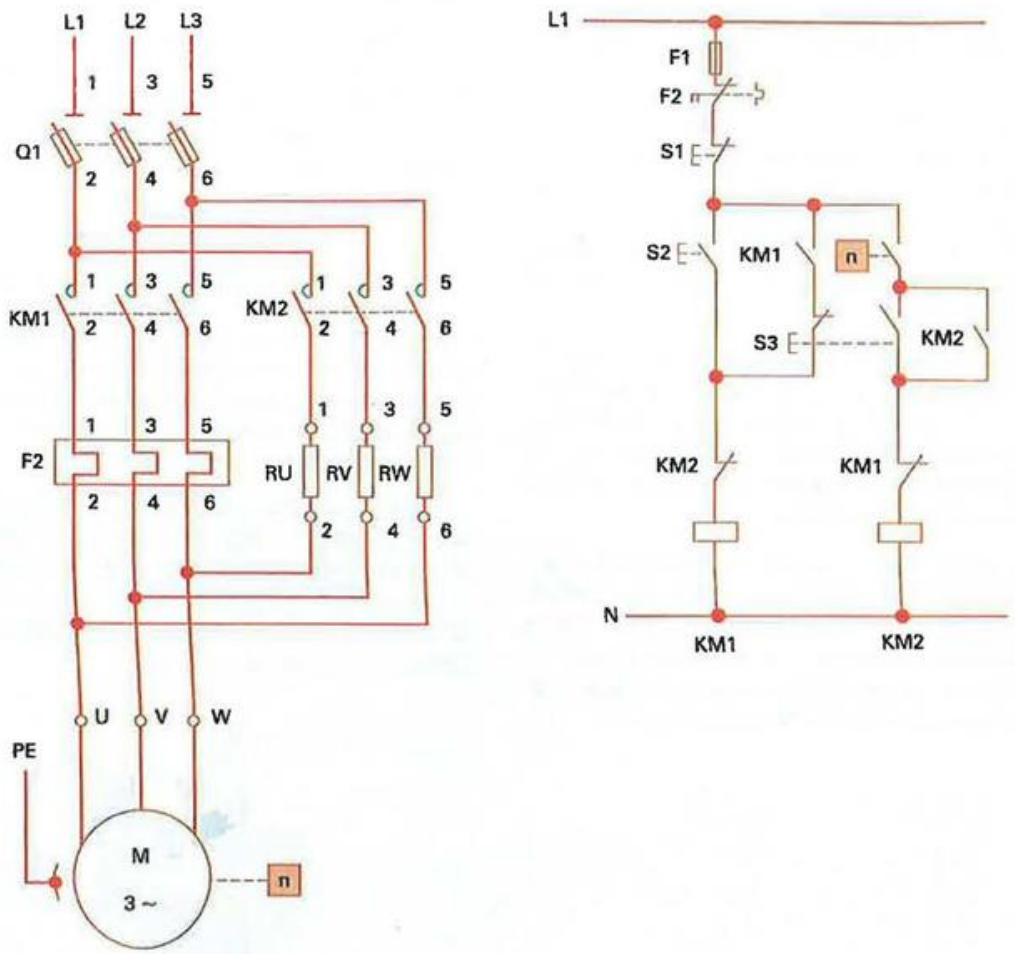
El frenado electromecánico es un sistema aplicable a motores de pequeña y mediana potencia, que consiste en alimentar temporalmente un electrofreno que detendrá el eje del motor por rozamiento a través de una zapata, muelle, tambor o disco.

Cuando se aplica este sistema mediante lógica cableada los circuitos de potencia y maniobra son similares a los de un arranque directo. En estado de reposo o parada, el electrofreno bloquea el eje del motor y en el momento que se activa el contactor principal se alimenta el motor y el electrofreno se retira.

Figura 8.57. *Representación de un electrofreno.*

SABÍAS QUE

Existen otros sistemas de frenado muy poco utilizados en la actualidad, como son el frenado monofásico, que consiste en alimentar el motor por las dos fases de la red. O el frenado por ralentizador de corrientes de Foucault.



BORNERO DE ENTRADA

X1 | L1 | L2 | L3 | N | PE |

BORNERO DE SALIDA

X2 | U1 | V1 | W1 | PE |

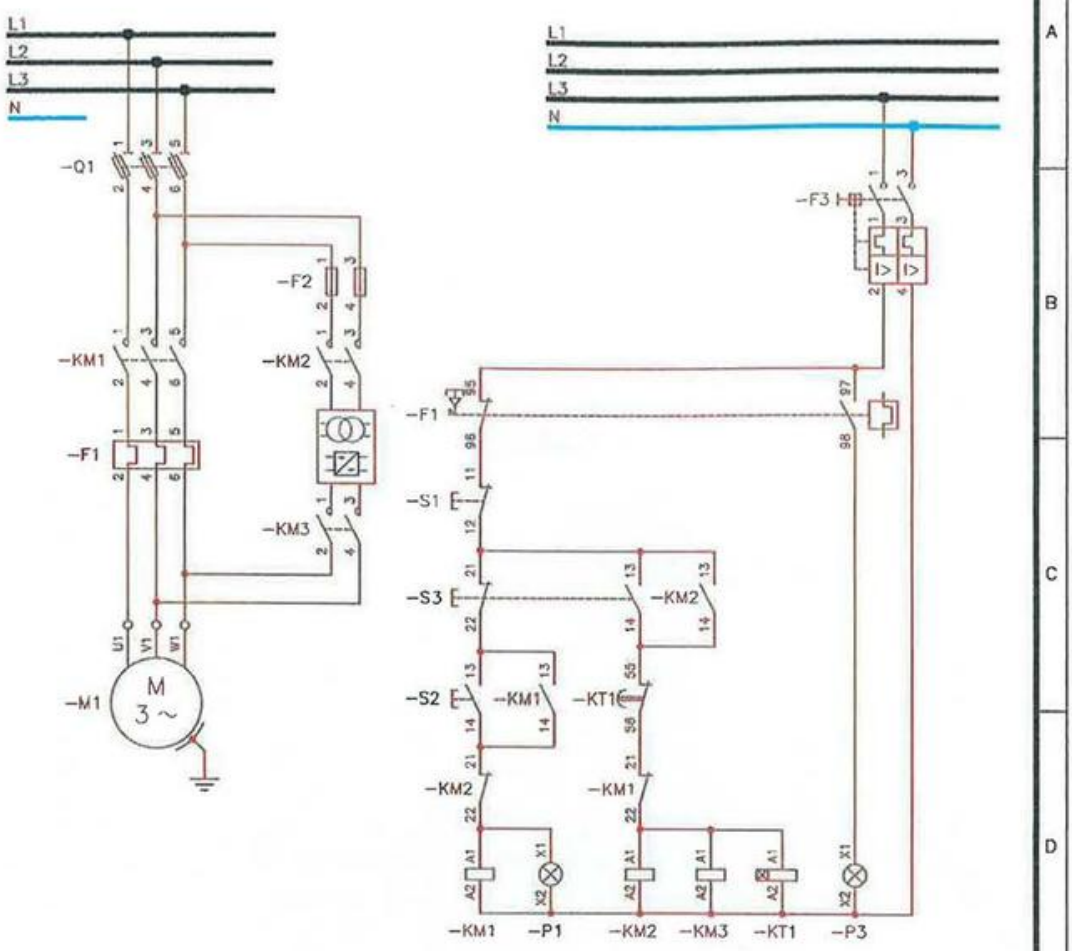
BORNERO DE RESISTENCIAS

X3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | PE |

BORNERO DE TACÓMETRO

X4 | 1 | 2 | PE |

Autores: Julián Rodríguez Fernández, Roberto Bezos Sánchez-Horneros		Número de plano: 015	Hoja: 1/1
Rev. 1.0	Descripción del plano: Frenado de motor por contracorriente suavizado mediante lógica cableada		
Ud. 08			
Escala N/A			



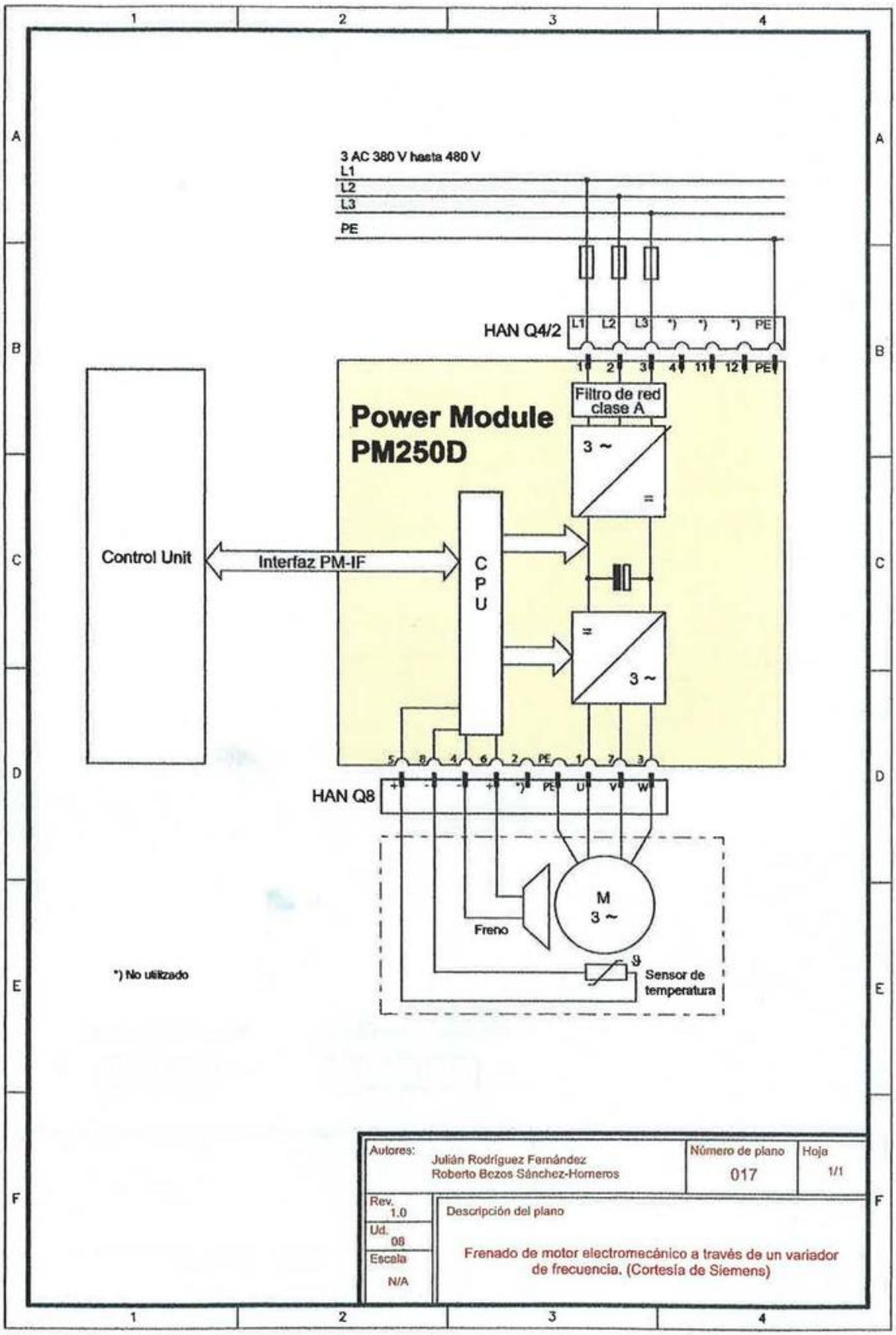
BORNERO DE ENTRADA

X1 | L1 | L2 | L3 | N | PE |

BORNERO DE SALIDA

X2 | U1 | V1 | W1 | PE |

Autores: Julián Rodríguez Fernández, Roberto Bezos Sánchez-Horneros	Número de plano: 016	Hoja: 1/1
Rev. 1.0	Descripción del plano: Frenado de motor por inyección de corriente continua mediante lógica cableada	
Ud. 08		
Escala N/A		



Autores: Julián Rodríguez Fernández, Roberto Bezos Sánchez-Homeros		Número de plano: 017	Hoja: 1/1
Rev. 1.0	Descripción del plano: Frenado de motor electromecánico a través de un variador de frecuencia. (Cortesía de Siemens)		
Ud. 08			
Escala N/A			

8.6. Compensación automática del factor de potencia

En la mayoría de las industrias, la compensación del factor de potencia de la instalación eléctrica se realiza de manera automática mediante baterías de condensadores controladas por contactores.

El uso de baterías de condensadores automáticas se basa en monitorizar permanentemente, mediante un dispositivo de medida similar a un analizador de red, el factor de potencia de la instalación, y conectar el número de baterías necesario para compensarlo en todo momento hasta un valor resistivo (cercano a cos $\varphi = 1$). De esta manera se garantizan las condiciones óptimas de la instalación en lo que a demanda de energía reactiva se refiere, pero además se garantiza que en ningún momento la energía absorbida por la red sea capacitiva, tal como especifica el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

SABÍAS QUE

Las baterías de condensadores automáticas normalmente se ubican en la cabecera de la instalación en el embarrado del cuadro general de baja tensión (CGBT) de la instalación.

Un equipo de compensación automática de energía reactiva debe ser capaz de adecuarse a las variaciones de potencia reactiva de la instalación para conseguir mantener el factor de potencia deseado. Estos sistemas están constituidos por tres elementos fundamentales:

- **Regulador:** calcula el factor de potencia de la instalación y da las órdenes a los contactores para conectar los distintos escalones. Para obtener este dato, se encarga de medir y monitorizar la lectura de intensidad (mediante un transformador de intensidad), la tensión y el consumo.
- **Contactores:** conectan los distintos condensadores que configuran la batería. El número de escalones que es posible disponer en un equipo de compensación automática depende de las salidas que tenga el regulador.
- **Baterías de condensadores:** aportan la energía reactiva a la instalación. Suelen estar formadas por grupos de tres condensadores conectados en triángulo.

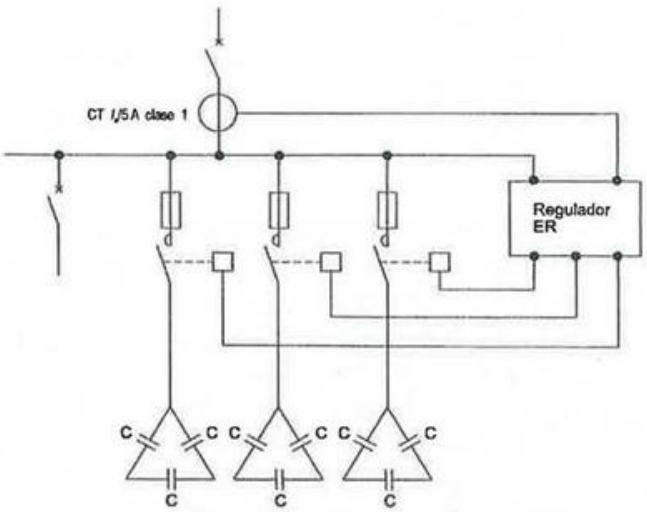


Figura 8.58. *Compensación automatizada de energía reactiva mediante baterías de condensadores.*

Actividades de comprobación

8.1. ¿Cómo se consigue invertir el sentido de giro de un motor asíncrono trifásico de rotor en cortocircuito?

a) Invirtiendo la polaridad del devanado rotórico.
b) Invirtiendo tres de las fases del devanado estatórico.
c) Invirtiendo dos de las fases del devanado estatórico.

8.2. El arranque directo de un motor tiene como principal ventaja:

a) Que su intensidad de arranque es muy alta, lo que favorece a la potencia.
b) Que su par de arranque es muy alto, lo que favorece a la fuerza inicial.
c) Que su tiempo medio de arranque es muy alto, lo que facilita un arranque progresivo.

8.3. En el arranque mediante resistencias rotóricas:

a) Buscamos aumentar la intensidad de arranque, al disminuir la resistencia del circuito.
b) Buscamos aumentar el par de arranque, al compensar el rotor de forma resistiva.
c) Buscamos disminuir la intensidad de arranque, al aumentar la resistencia del circuito.

8.4. En el arranque mediante auntotransformador:

a) Buscamos aumentar la intensidad de arranque, al disminuir la tensión inicial.
b) Buscamos disminuir la intensidad de arranque, al disminuir la tensión inicial.
c) Buscamos disminuir la intensidad de arranque, al insertar más bobinados en el estator.

8.5. Con un motor de dos velocidades en conexión Dahlander, podemos obtener:

a) Dos velocidades cualesquiera.
b) Dos velocidades, una el doble que la otra.
c) Hasta cuatro velocidades, si lo conectamos en triángulo.

8.6. ¿En qué tipo de frenado resulta necesario utilizar un rectificador?

a) Frenado por electrofreno.
b) Frenado por inyección de corriente continua.
c) Frenado por contracorriente.

8.7. En el arranque directo de un motor trifásico con rotor de jaula de ardilla, cuyas características nominales de tensión son: 690 V/1.200 V, podremos conectarlo en estrella:

a) A una red trifásica de 690 V.
b) A una red trifásica de 1.200 V.
c) A una red trifásica de 1.200 V o 690 V, según hagamos la conexión.

8.8. Si en el motor del apartado anterior queremos realizar un arranque estrella-triángulo, ¿a qué red debemos conectarlo?

a) A una red trifásica de 690 V.
b) A una red trifásica de 1.200 V.
c) A una red trifásica de 1.200 V o 690 V, según hagamos la conexión.

8.9. ¿A qué hacen referencia las siglas PWM?

a) A un sistema de frenado reostático.
b) A un sistema de variación de la frecuencia.
c) A un sistema electrónico para la inversión de giro.

8.10. ¿Hasta cuánto se reduce aproximadamente la intensidad en un arranque estrella-triángulo con respecto a la intensidad en arranque directo?

a) Hasta 1/2.
b) Hasta 1/3.
c) Hasta 2/3.

8.11. ¿En cuál de los siguientes sistemas de automatismos industriales no resultaría necesario utilizar enclavamiento entre ninguno de sus contactores?

a) Inversión de giro de un motor trifásico.
b) Motor de dos velocidades.
c) Ninguna opción es correcta.

8.12. Las sondas térmicas diseñadas para ser acopladas al motor tras la fabricación, ya que no son introducidas de serie, se denominan:

a) TNC.
b) CTN.
c) NTC.

Actividades de aplicación

8.1. Según el vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, en un motor de corriente alterna de 8.200 W, ¿cuál es la máxima relación posible entre la intensidad nominal y la intensidad en el arranque?

8.2. Según el vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, en un motor de corriente continua de 8.200 W, ¿cuál es la máxima relación posible entre la intensidad nominal y la intensidad en el arranque?

8.3. ¿En cuál de los siguientes motores no se podría realizar un arranque mediante resistencias rotóricas?

a) En un motor de rotor bobinado.

b) En un motor de rotor accesible.

c) En un motor de rotor en cortocircuito.

Justifica todas las respuestas.

8.4. ¿Cuál es el componente fundamental de un arrancador electrónico? ¿Cuál es su función?

8.5. ¿Qué es un guardamotor? Define sus principales características.

8.6. Explica brevemente qué es una sonda térmica PTC, definiendo sus características fundamentales. ¿Dónde se ubican este tipo de sondas?

8.7. Según el vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RD 842/2002), en general, ¿a partir de qué potencia a un motor trifásico no se le puede realizar un arranque directo?

8.8. De forma aproximada, en el arranque directo de un motor, ¿cuántas veces es superior la punta de intensidad en el momento del arranque en relación con la intensidad nominal?

8.9. Suponiendo que la punta de intensidad en arranque directo de un motor trifásico fuese de 24 amperios, ¿qué valor aproximado alcanzaría si se le realizase un arranque estrella-triángulo?

8.10. ¿En qué consiste el tipo de arranque mediante resistencias? ¿Qué diferencias existen entre el estatórico y el rotórico?

8.11. Define qué es un autotransformador y cómo resulta posible limitar la intensidad en el arranque de un motor a través de este componente eléctrico.

8.12. Explica el principio de funcionamiento de un arrancador electrónico.

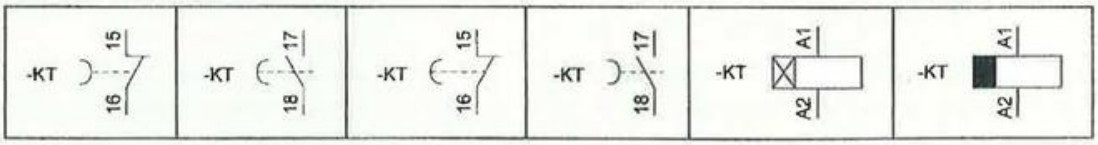
8.13. Realiza el esquema resumido de la inversión de giro de un motor trifásico, de un motor monofásico con bobinado auxiliar de arranque y de un motor de corriente de excitación independiente.

8.14. ¿Qué sistemas conoces para realizar la regulación de velocidad en motores de corriente alterna?

8.15. Explica brevemente en qué consiste el frenado por contracorriente.

8.16. Enumera los elementos que constituyen un sistema de compensación automática del factor de potencia.

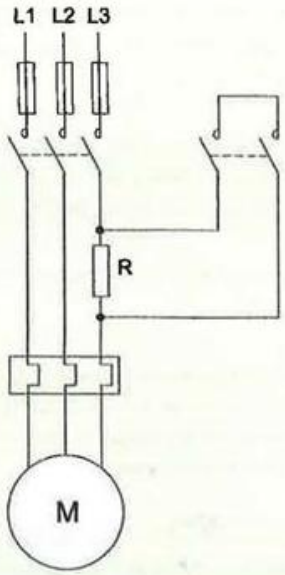
8.17. Identifica los siguientes elementos:



Casos prácticos

8.1. Existe un método de arranque de motores eléctricos trifásicos que se puede considerar como un paso intermedio entre el arranque por autotransformador y el arranque por resistencias estatóricas. Se denomina arranque en Kusa, y consiste en colocar una sola resistencia en una de las tres fases, cuyo valor óhmico suministra el fabricante del motor.

A continuación se muestra el esquema de potencia asociado a este arranque:



Analiza el circuito y responde a las siguientes cuestiones:

a) ¿Qué ventajas e inconvenientes crees que puede tener este tipo de arranque?

b) ¿En qué motores crees que se utiliza?

c) Identifica los componentes representados en el esquema, explica brevemente su función y realiza el marcado de los mismos.

d) Realiza el esquema de maniobra asociado al esquema expuesto.

8.2. Realiza el esquema de potencia y maniobra completo para la inversión de giro de un motor de corriente continua de excitación *compound* o compuesta.

8.3. Realiza el esquema de potencia y maniobra completo para un motor trifásico de rotor bobinado mediante resistencias rotóricas de cuatro tiempos (es decir, con tres bloques resistivos), que deberán ir siendo cortocircuitados de manera automática mediante contactores cada 3 segundos.

8.4. Realiza el esquema de potencia y maniobra completo para la inversión de giro de un motor de corriente alterna monofásico mediante pulsadores. Los contactores utilizados deberán ser de dos polos y el relé térmico de tres polos.

8.5. Diseña un automatismo industrial basado en lógica cableada para realizar el arranque de un motor III de inducción cortocircuitando la protección térmica en el arranque mediante contactores.

8.6. La tabla que se muestra a continuación contiene un resumen de la información que aparece en la placa de características de tres motores distintos:

Motor A		Motor B		Motor C	
50 Hz	133/230 V	50 Hz	400/690 V	50 Hz	230/400 V
7,5 kW	26,3/12,1 A	18,5 kW	32,5/18,8 A	5,5 kW	22,5/13 A
cos φ = 082	1.455 rpm	cos φ = 0,91	2.940 rpm	cos φ = 0,73	750 rpm

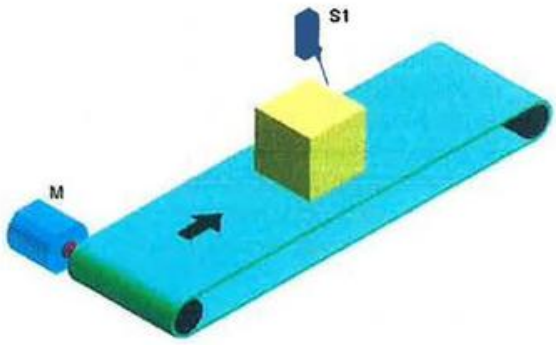
Si disponemos de una red trifásica de 50 Hz y 400 V de tensión de línea:

a) ¿Cuáles de los tres motores podrían arrancarse mediante el método estrella-triángulo? Justifica la respuesta.

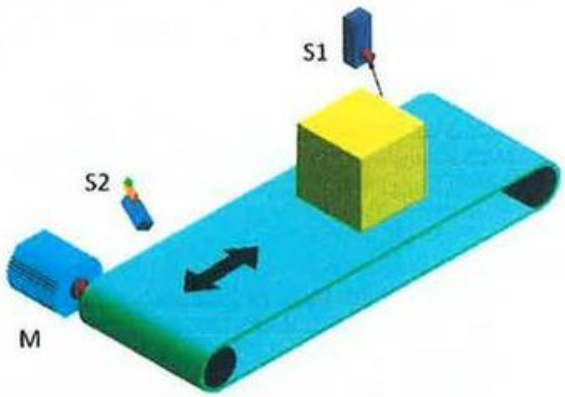
b) Indica la intensidad a la que habría que ajustar las protecciones (térmicas y magnéticas) del arrancador estrella-triángulo para el motor o motores seleccionados.

c) Al poner en marcha el motor, se ha detectado que gira en sentido contrario al deseado. Describe el proceso que habría que llevar a cabo para corregir el problema.

8.7. Diseña un esquema de maniobra para que el objeto de la figura se detenga al llegar al interruptor de posición S1 y, transcurridos unos segundos, reanude su movimiento.



8.8. Diseña el esquema de potencia y el esquema de maniobra correspondientes al proceso industrial representado en la figura.



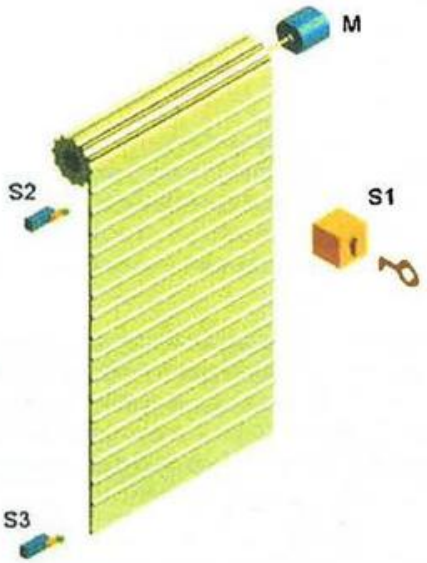
El funcionamiento es el siguiente:

Al pulsar el botón de marcha, el objeto de la figura avanza desde el principio de la cinta (donde se encuentra ubicado el motor) hasta llegar al mecanismo final de carrera **S1**, donde se detiene. Transcurridos unos segundos, el objeto reanuda su movimiento en dirección contraria hasta llegar a la posición en la que el sensor S2 lo detecta y detiene el sistema.

8.9. Realiza el esquema de fuerza y maniobra para el arranque de dos motores trifásicos. El funcionamiento debe ser el siguiente:

- Al pulsar marcha (S2) arranca el primer motor (M1) y transcurrido un tiempo arranca el segundo motor (M2).
- Al pulsar paro, se paran inmediatamente los motores.
- Los motores estarán protegidos mediante disyuntor motor.
- Ante cualquier avería en algún motor, ninguno funcionará.
- Se señalizará (H1 y H2) cuando está funcionando cada motor, además se señalizará (H3) cuando se produce un disparo en alguna protección.
- Una vez arrancados los dos motores, el temporizador se desconectará de la red eléctrica.

8.10. Se pretende diseñar un circuito de mando que, aplicado a un inversor de giro, permita automatizar una puerta eléctrica. Para ello se dispone de un pulsador de marcha (S1) y dos interruptores de posición (S2 y S3) que detectan cuándo la persiana llega a la posición superior o inferior respectivamente.



La puerta debe subir al accionar **S1**, parar al llegar a la posición superior **S2** y, después de 45 segundos, bajar automáticamente y detenerse en la posición inferior **S3**. Como medida de seguridad, si durante el proceso de bajada alguien pasa por debajo de la puerta, activándose S3, el automatismo debe hacer que la puerta vuelva a subir automáticamente.

8.11. Dibuja el esquema de fuerza y maniobra para una máquina compuesta por dos motores trifásicos que se mueven en sentidos opuestos (cuando M1 tiene giro directo M2 tiene giro inverso y viceversa). El funcionamiento es el siguiente:

- Al pulsar S2, M1 gira en sentido directo y M2 en sentido inverso.
- Al pulsar S3, M1 gira en sentido inverso y M2 en sentido directo.
- Con un pulsador de paro (S1) se detiene todo el sistema.

- Las protecciones constan de un seccionador fusible (Q1) que protege a ambos motores además de un relé térmico por cada motor.
- Ante cualquier problema, se para todo el sistema.

Debe quedar señalizado el sentido de funcionamiento de la maquinaria.

8.12. El motor eléctrico de una máquina se pone en marcha al accionar un pulsador (S2) y gira en sentido directo durante 30 segundos, al cabo de los cuales invierte su sentido y permanece así hasta que se pulsa paro (S1). Como elementos de protección cuenta con un disyuntor magnético (Q1) y relé térmico (F1). Si se dispara el relé térmico, el sistema se para.

Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado al proceso detallado, señalizando cuándo la máquina está en marcha (H1) y cuándo ha saltado el térmico (H2).

8.13. Realiza el esquema de un arranque estrella-triángulo para un motor trifásico, el cual se pueda arrancar desde dos posiciones (S3 y S4) y parar desde una (S1), además, contará con un paro de emergencia. Señaliza en qué fase del arranque se encuentra el motor.

8.14. Realiza el esquema de fuerza y maniobra del arranque de un motor trifásico mediante autotransformador, el cual una vez arrancado funcione durante un tiempo de 25 segundos. Dota al motor con protección. Señaliza cuándo el motor está en fase de arranque (H1) y cuándo ya ha arrancado (H2).

8.15. Realiza el esquema del arranque de un motor trifásico mediante resistencias estatóricas el cual cuenta con dos escalones o grupos de resistencias de arranque. Dota al motor con protección. Señaliza cuándo el motor ha terminado de arrancar.

8.16. Realiza el esquema de potencia y maniobra de un arranque adecuado para un motor de rotor bobinado de mediana potencia. Se desea que tenga tres escalones de arranque.

8.17. Realiza el esquema de fuerza y maniobra para el arranque de un motor de devanados separados, el cual pueda arrancar en ambos sentidos de giro. Añade los sistemas y mecanismos de seguridad que consideres oportunos.

8.18. Una cinta transportadora con material sensible a caídas se desplaza a lo largo de un proceso productivo. Un operario la controla (S2: paro y S3: marcha) desde el principio de la línea y un segundo operario que realiza tareas de calidad puede también controlarla desde la mitad de la cinta (S4: paro y S5: marcha). Además, contará con un paro de emergencia (S1).

Elabora los esquemas de potencia y maniobra asociados a este proceso, señalizando cuándo la cinta transportadora está en funcionamiento y cuándo se activan las protecciones. Realiza el esquema utilizando el arranque más adecuado.

8.19. Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado a un arranque de un motor monofásico el cual está protegido con un disyuntor magnético para cortocircuitos y con un relé térmico. El motor debe poder arrancar en cualquier sentido de giro, pero si arranca en sentido directo funciona durante 10 segundos y si arranca en sentido inverso funciona durante 15 segundos.

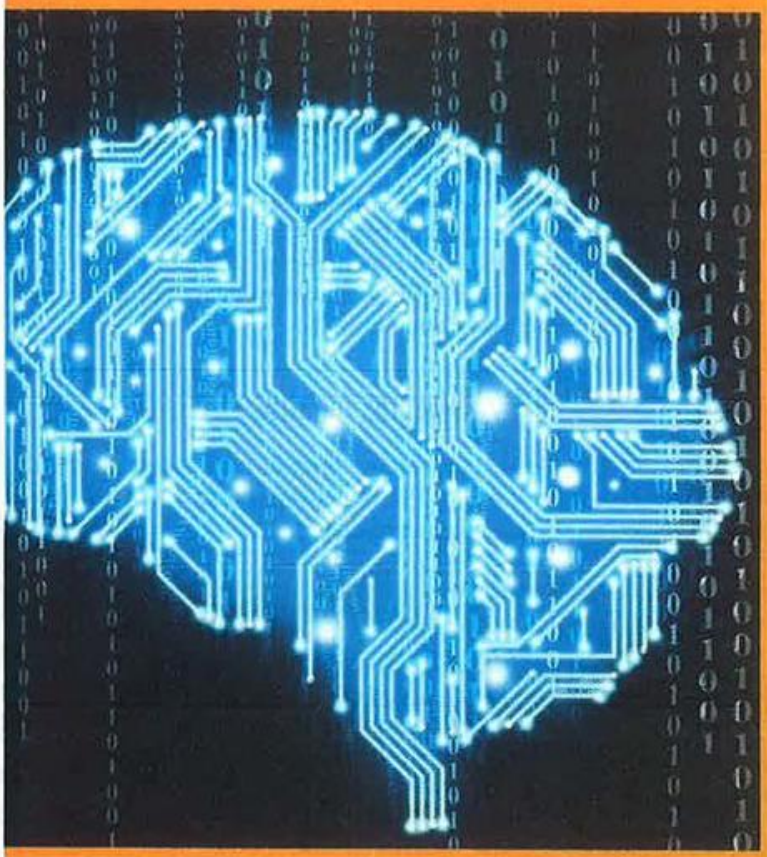
8.20. Apoyándote en catálogos de varios fabricantes que localices en internet, selecciona los elementos que intervienen en el arranque del motor trifásico expuesto a continuación. Selecciona tanto los elementos de mando como los elementos de protección más adecuados, justificando la elección.

Las características del circuito son las siguientes:

— El circuito de mando se realiza a una tensión de 230 V_{CA}.
— La potencia del motor es 15 kW.
— Protección mediante disyuntor electromagnético y relé térmico.
— Se desea un arranque suave y progresivo. (Arranque de clase 10.)

Fundamentos de electrónica digital

9



Los circuitos digitales se encuentran en innumerables productos de equipos domésticos, industriales y de telecomunicación, entre otros, ya que el desarrollo de circuitos integrados a bajo coste ha motivado la evolución de la tecnología y su gran expansión.

La electrónica digital es la parte de la electrónica que ocupa los sistemas que trabajan en dos únicos estados. A ambos estados se les asigna los valores 1 o 0, o también se denominan valor "verdadero" o valor "falso". Así pues, en un circuito electrónico digital hay dos niveles de tensión. Típicamente para el valor "verdadero" o 1 se utilizan los rangos de voltaje: 1,5, 3, 5, 9 y 18 V en función de la aplicación a la que se destine. El valor "falso" o 0 corresponde al valor de potencial de referencia o masa.

Contenidos

- 9.1. Sistemas de numeración
- 9.2. Lógica de contactos
- 9.3. Lógica de funciones
- 9.4. Álgebra de Boole y teoremas de Morgan
- 9.5. Obtención del circuito lógico a partir de una tabla de verdad y viceversa
- 9.6. Simplificación de funciones booleanas

Objetivos

- Diferenciar los distintos sistemas de numeración.
- Definir la lógica de contactos y de funciones digitales.
- Dar a conocer el álgebra de Boole, teoremas y axiomas.
- Analizar las formas de obtener circuitos lógicos y tablas de verdad.
- Describir los procedimientos de simplificación de funciones.

9.1. Sistemas de numeración

Un sistema de numeración se puede definir como el conjunto de símbolos (dígitos, caracteres o ambos) y reglas que se utilizan para la representación de datos numéricos o cantidades.

Los sistemas de numeración tienen diferentes reglas, según:

- El sistema de numeración considerado (por ejemplo, decimal, binario, octal, hexadecimal, etc.).
- El conjunto de símbolos permitidos en el sistema. En el caso del sistema decimal son {0,1,...9}; en el binario son {0,1}; en el octal son {0,1,...7}; en el hexadecimal son {0,1,...9, A, B, C, D, E, F}.
- Los números que son válidos en el sistema y cuáles no. En un sistema de numeración posicional las reglas son bastante simples, mientras que la numeración no posicional, por ejemplo la romana, requiere reglas algo más elaboradas.

Estas reglas son diferentes para cada sistema de numeración considerado, pero una regla común a todos es que para construir números válidos solo se pueden utilizar los símbolos permitidos en ese sistema. Para indicar en qué sistema de numeración se representa una cantidad se añade como subíndice a la derecha el número de símbolos que se pueden representar en dicho sistema (base).

SABÍAS QUE

La civilización maya utilizaba un sistema de numeración de raíz mixta de base 20 (vigesimal) y ya desarrollaron el concepto de cero alrededor del año 36 a.C. Las inscripciones muestran sumas de hasta cientos de millones y fechas tan extensas que se empleaban varias líneas para poder representarlas.

9.1.1. Números decimales

El sistema de numeración decimal es el más usado en todo el mundo. Se utilizan los dígitos 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9. Dado que tiene diez dígitos, se denomina **sistema de base 10**, de ahí su nombre "decimal". Es un **sistema que tiene la característica de valor por posición**. Para descomponerlo, el valor de las unidades se multiplica por la base 10 elevándola a 0, el valor de las decenas se multiplica por la base 10 elevándola a 1, el valor de las centenas se multiplica por la base 10 elevándola a 2, el valor de los millares se multiplica por la base 10 elevándola a 3 y así sucesivamente, sumando los anteriores resultados se obtiene el número compuesto. Por ejemplo: si tomamos el número 924, se puede descomponer en las sumas: $9 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 4 \times 10^0$, dándonos como resultado el número buscado.

9	2	4
↓	↓	↓
9×10^2	2×10^1	4×10^0
$= 900$	$= 20$	$= 4$

Veamos otro ejemplo, esta vez para el número 8.351.

8	3	5	1
↓	↓	↓	↓
8×10^3	3×10^2	5×10^1	1×10^0
$= 8.000$	$= 300$	$= 50$	$= 1$

Como será estudiado más adelante, el sistema binario (base 2), el sistema octal (base 8) y el hexadecimal (base 16), tienen la misma característica de valor por posición. Estos sistemas se utilizan en electrónica digital, computadoras y microcomputadoras.

9.1.2. Números binarios

El sistema de numeración binario utiliza únicamente dos dígitos: el 0 y el 1. Por tanto, tiene base 2. A cada uno de los dígitos se le denomina **bit**.

SABÍAS QUE

Bivalente es sinónimo de tener dos posibilidades de combinación. En lógica binaria significa tener dos estados, 0 o 1.

Así, por ejemplo, tenemos el número binario: 110, que se lee "uno, uno, cero".

Conversión de numeración binaria a decimal

Haciendo lo mismo que en el sistema decimal, pero en vez de con base 10 con base 2, tenemos lo siguiente:

$1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 = 6$. Por tanto, el número binario 110 equivale al número 6 en sistema decimal.

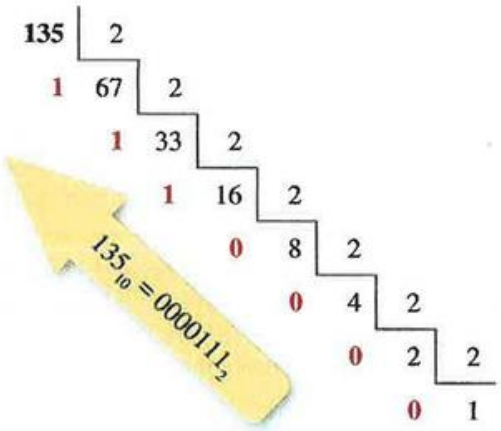
El bit más significativo es el que está más a la izquierda y el menos significativo es el que está situado más a la derecha.

RECUERDA

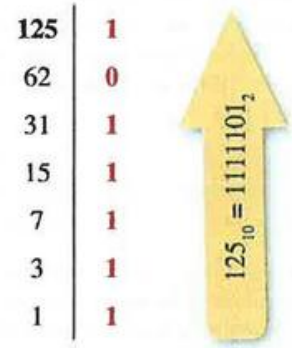
Los sistemas de control que utilizan contactores y relés funcionan con componentes que tienen dos estados muy bien diferenciados: abierto (conduce) o cerrado (no conduce). A estos componentes se los denomina lógicos o de **"todo o nada"**.

Conversión de numeración decimal a binario

Para realizar la conversión de decimal a binario se procede de la siguiente manera: se divide el número del sistema decimal entre 2, este último resultado entero se vuelve a dividir entre 2, y así sucesivamente hasta que el dividendo sea menor que el divisor (2). Cuando el número a dividir sea 1 se termina. A continuación se ordenan los restos de las divisiones empezando desde el último hacia el primero, y se colocan en dicho orden inverso. Este será el número binario que buscamos.



Otro método de conversión decimal a binario consiste hacerlo de forma similar a la factorización de números primos. Se pone el número y una línea vertical para separar dos zonas. En la parte de la izquierda se pondrán los resultados de dividir entre 2 el número inmediatamente superior. **En la parte de la derecha se pone 0 si el resultado obtenido ha sido par o 1 si el resultado ha sido impar. En caso de salir impar, nos quedamos siempre con la parte entera de dicha división. La parte decimal no la tenemos en cuenta,** nunca ponemos decimales. Para obtener el número binario, ordenamos la columna de la derecha empezando de abajo hacia arriba.



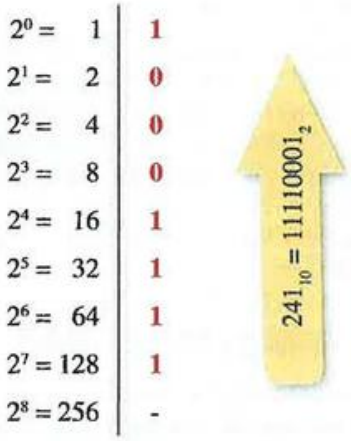
RECUERDA

Un sistema de base 2 (binario) tiene dos posibles valores (0 y 1), de base 8 (octal) ocho posibles valores (0 al 7), de base 10 (decimal) diez posibles valores (0 al 9), de base 16 (hexadecimal) dieciséis valores (0 al 9 y de la A a la F).

Para convertir un número de decimal a binario hay **otro método denominado "de distribución"**. Se trata de distribuir los unos entre las potencias de dos, de modo que la suma de las potencias dé el número decimal para ser convertido.

Ejemplo

Queremos convertir el número 241 a binario. Se colocan a la izquierda todas las potencias de 2 hasta encontrar el límite inmediatamente inferior a 241 e inmediatamente superior. En este caso, el límite inferior es $2^7 = 128$ ya que $2^8 = 256$ es superior al número a convertir y por tanto es el límite superior. El límite superior no se utiliza. Ahora se trata de buscar la suma para obtener el número 241. En 128 se pone un 1 a la derecha y como tenemos que $241 - 128 = 113$, 113 es el número que tenemos que obtener a base de sumar desde 2^0 a 2^6, por tanto ponemos 1 en: 64, 32, 16 y 1. Como en casos anteriores, ordenamos los números binarios de abajo hacia arriba obteniendo el número binario 11110001.



Actividad propuesta 9.1

Convierte los siguientes números decimales al sistema binario, utilizando el método que prefieras de los estudiados.

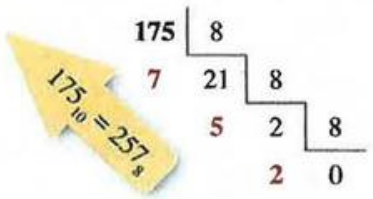
a) 345.
b) 1.124.
c) 76.
d) 92.
e) 154.
f) 3.257.

9.1.3. Números octales

Es el sistema numérico de base 8 y utiliza los dígitos 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7. Estos tienen el mismo valor que en el sistema de numeración decimal. Tiene la característica que la base 8 es potencia exacta de 2 ($8 = 2^3$) que es la base de la numeración binaria, por lo que la conversión octal a binario o viceversa resulta muy simple.

Conversión de decimal a octal

Para convertir un número en base decimal a base octal se divide por 8 sucesivamente hasta llegar a cociente 0, y los restos de las divisiones en orden inverso indican el número en octal. Para pasar de base 8 a base decimal, solo hay que multiplicar cada cifra por 8 elevado a la posición de la cifra, y sumar el resultado.



Conversión de binario a octal

La ventaja principal del sistema de numeración octal es la **facilidad** con que puede realizarse la **conversión entre un número binario y octal.**

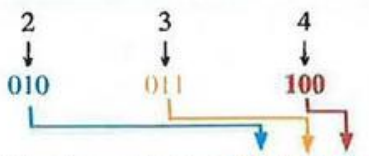
Para convertir de binario a octal solo hay que agrupar de 3 en 3 los dígitos binarios, así, el número 107 (en decimal) es 1101011 (en binario). Para convertirlo a octal, el número binario lo agrupamos de tres en tres empezando por la derecha: 1|101|011, después obtenemos el número en decimal de cada uno de los números en binario obtenidos: 1 = 1, 101 = 5 y 011 = 3. De modo que el número decimal 107, en binario es 1101011 y en octal es 153.

Conversión de octal a binario

Para convertir de octal a binario se procede de forma similar a la anterior. **Se convierte cada dígito octal en un número binario de tres dígitos** y seguidamente se juntan los grupos de dígitos obtenidos.

Ejemplo

Convertimos el número 234 (octal) a binario.



El número binario resultante es: 010011100

9.1.4. Números hexadecimales

El sistema de numeración hexadecimal tiene base 16. En este sistema, se utilizan los símbolos alfanuméricos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E y F. La letra A equivale al 10 decimal, la B al 11, la C al 12, la D al 13, la E al 14 y la F al 15.

Este sistema **es muy útil y práctico para transformar directamente números binarios de 4 bits**, es decir, del 0000 al 1111 pudiéndose representar únicamente por un símbolo hexadecimal.

En informática y en electrónica para circuitos digitales industriales, a veces se utiliza la numeración octal en lugar de la hexadecimal. Tiene la ventaja que no requiere utilizar otros símbolos diferentes de los dígitos.

Sin embargo, para trabajar con bytes o conjuntos de ellos, y teniendo en cuenta que un byte es un conjunto de 8 bits, suele ser más cómodo el sistema hexadecimal, ya que todo byte así definido es completamente representable por dos dígitos hexadecimales.

Al igual que los sistemas anteriores (decimal, binario y octal), utiliza el mismo concepto de valor por posición. Así pues, tenemos el número 23 decimal, que equivale al 10111 en binario y al 17 en hexadecimal ($1 \times 16^1 + 7 \times 16^0 = 23$).

RECUERDA

La A en hexadecimal corresponde al 10 en decimal, B al 11, C al 12, D al 13, E al 14 y F al 15.

Conversión de hexadecimal a decimal

Para convertir de hexadecimal a decimal se aplica el mismo método que los anteriores de multiplicar el valor de la posición de cada uno de los caracteres del número hexadecimal, multiplicándola por la base (16) y elevando dicha base a la potencia que indica la posición, siendo 0 para el valor de la derecha (menos significativo), 1 para el segundo empezando por la derecha, 2 para el tercero empezando por la derecha, etc., hasta llegar al carácter más significativo. Los caracteres con letras se sustituyen por su equivalente en decimal (A = 10, B = 11, C = 12, D = 13, E = 14, F = 15).

SABÍAS QUE

Las calculadoras científicas hacen todo tipo de conversiones con números decimales, binarios, octales, hexadecimales... Una herramienta informática muy útil para este tipo de conversones es la hoja de cálculo Microsoft Excel.

Ejemplos

$$1D8_{16} = 1 \times 16^2 + \mathbf{13} \times 16^1 + 8 \times 16^0 = 472_{10}$$

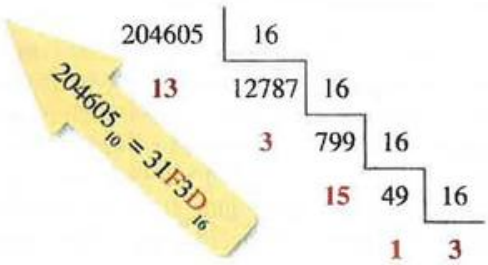
$$A5C98F_{16} = \mathbf{10} \times 16^5 + 5 \times 16^4 + \mathbf{12} \times 16^3 +$$

$$+ 9 \times 16^2 + 8 \times 16^1 + \mathbf{15} \times 16^0 = 10865039_{10}$$

Conversión de decimal a hexadecimal

Para convertir de decimal a hexadecimal se hace de la misma manera que convertir un número de decimal a binario, solo que en vez de dividir por 2 dividimos por 16 (método de divisiones sucesivas) y cogemos el último cociente y los restos ordenados de forma inversa, teniendo en cuenta que si en el último cociente o restos da como resultado del 10 al 15, se convierte automáticamente la A por 10, la B por 11, la C por 12, la D por 13, la E por 14 y la F por 15.

Ejemplo



Conversión de hexadecimal a binario

Para convertir un número hexadecimal en código binario, se obtiene el número binario de cada una de sus cifras con cuatro bits, es decir, un byte. Posteriormente a la conversión, **si hay alguno o varios ceros a la izquierda**, se eliminan hasta el primer uno.

5D = 01011101 = 1011101

1A = 00011010 = 11010

Actividad propuesta 9.2

Convierte a binario y a decimal los siguientes números hexadecimales:

a) $2B_{16}$ b) $1F3_{16}$

c) $23E_{16}$ d) $49B_{16}$

9.1.5. Sistemas para representar números negativos binarios

Para representar números binarios negativos, el bit más significativo o MSB es la cifra del número que representa el bit de signo.

Si el bit más significativo es 0, el número binario es positivo (+). Si por el contrario, si es 1, el número es negativo (–).

Este tipo de números se emplea en microprocesadores que son utilizados en PC, autómatas programables para automatismos y todos los circuitos electrónicos que utilizan sistema digital para procesamiento de datos.

Para realizar la conversión de números negativos, se distinguen dos complementos:

Complemento a-1

El complemento a-1 se obtiene al cambiar cada una de sus cifras 0 por 1 y viceversa, esto es, permutar cada una de sus cifras por su complementario.

Ejemplo

Obtención del complemento a-1 del número binario 11011010.

Número binario	1	1	0	1	1	0	1	0
Complemento a-1	0	0	1	0	0	1	0	1

Complemento a-2

Para obtener el complemento a-2 de un número binario, se hace el complemento a-1 de él y **se suma 1 al bit menos significativo** (cifra que corresponde a la derecha del número).

Para convertirlo a negativo, se añade un bit a la izquierda del bit más significativo del complemento a-2. Si este bit es 0, el número es positivo y si es 1 es negativo.

Ejemplo

Obtención del complemento a-2 del número decimal 13.

Número decimal	1	3			
Número binario	1	1	0	1	Se convierte 13_{10} a binario
Complemento a-1	0	0	1	0	Se cambia 1 por 0 y viceversa
Complemento a-2	0	0	1	1	Se suma 1 al bit menos significativo
Número negativo (-13_{10})	1	0	0	1	1	Se añade la cifra 1 a la izquierda del número para indicar que es negativo

Actividad propuesta 9.3

Obtén el complemento a-2, de los siguientes números:

a) -12_{10}

b) -45_{10}

c) 68_{10}

d) 36_{10}

9.1.6. Código Gray

El código Gray o binario reflejado es un sistema de numeración en el que los números sucesivos se diferencian solo en una cifra.

Para formarlo, se suma el número a sí mismo desplazado una posición a la derecha, y descartando el bit menos significativo.

Se emplea para comprobar señales con ruidos en telecomunicaciones, verificación de posiciones correctas en *swiches* de tarjetas electrónicas y similares.

Ejemplo

Obtención del número binario 10010101 en código Gray.

Número decimal	1	0	0	1	0	1	0	1
Desplazamiento		1	0	0	1	0	1	0 +
Número en código Gray	1	1	0	1	1	1	1	1

Actividad propuesta 9.4

Obtén el código Gray de los números decimales del 0 al 16.

9.2. Lógica de contactos

Consiste en representar los esquemas de automatismos industriales compuestos de relés, contactores, pulsadores e interruptores.

Entradas

Las entradas son variables y se clasifican en:

- **Directa:** es aquella que entrega valor alto, valor verdadero o "1" al activarse.
- **Inversa:** al contrario que la entrada inversa, esta entrega un valor bajo, valor falso o "0" al activarse. Es una variable negada.

Desde el punto de vista de cómo son introducidas las variables de entrada al sistema, pueden ser:

- **Entradas puras:** son aquellas que son manejadas por el proceso o por el operador del automatismo.
- **Entradas con salida realimentada:** son las entradas que vienen previamente de una variable de salida que se introduce como entrada. Es típico en automatismos industriales secuenciales.

Salidas

Van asociadas a las variables de salida de una función lógica. Esta función es implementada por los relés y contactores del circuito de control que actúa sobre el circuito de potencia.

Todos los elementos anteriormente indicados **se interconectan creando estructuras o redes de contactos elementales que, al combinar estas, se obtienen los grandes circuitos de mando** o de maniobra de los cuadros para automatismos.

9.2.1. Función lógica AND o "Y"

La función Y en lógica de contactos se trata de elementos de entrada directa como pulsadores e interruptores, que están conectados en serie, por tanto, cualquier pulsador o **contacto que no esté cerrado la salida será un 0** lógico o nivel bajo, mientras que si todos los **contactos están cerrados, será un 1** lógico o nivel alto. Equivale por tanto a la operación del producto. La función lógica del esquema siguiente viene dada por *y*.

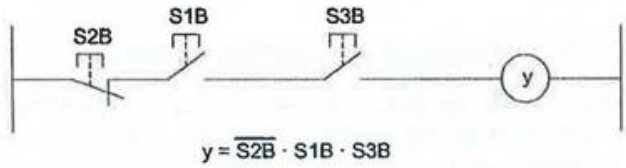


Figura 9.1. *Esquema de contactos de la función lógica AND o "Y".*

Se verifica el estado encendido o apagado por la siguiente tabla de verdad:

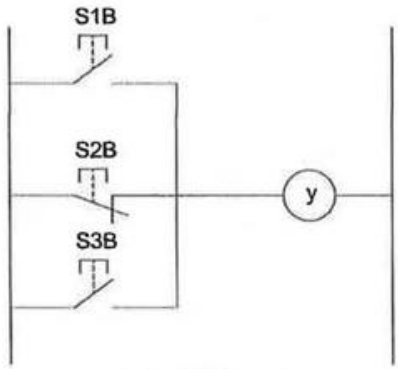
Tabla 9.1. Tabla de verdad de la función lógica AND o "Y".

S1	S2	S3	Y
OFF	OFF	OFF	OFF
OFF	OFF	ON	OFF
OFF	ON	OFF	OFF
OFF	ON	ON	ON

S1	S2	S3	Y
ON	OFF	OFF	OFF
ON	OFF	ON	OFF
ON	ON	OFF	OFF
ON	ON	ON	OFF

9.2.2. Función lógica OR u "O"

La función O en lógica de contactos son elementos de entrada directa como los pulsadores e interruptores, que están conectados en paralelo, por tanto, si todos los contactos están abiertos, la salida será un 0 lógico o nivel bajo, mientras que si cualquiera de los contactos se cierra, la salida será un 1 lógico o nivel alto. Por tanto, equivale a la suma algebraica. La **función lógica** del esquema siguiente viene dada por *y*.



$y = S1B + \overline{S2B} + S3B$

Figura 9.2. *Esquema de contactos de la función OR u "O".*

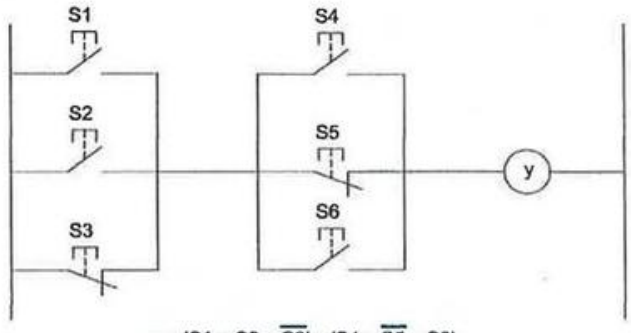
Se verifica el estado encendido o apagado por la siguiente tabla de verdad:

Tabla 9.2. Tabla de verdad de la función OR u "O".

S1	S2	S3	Y
OFF	OFF	OFF	ON
OFF	OFF	ON	ON
OFF	ON	OFF	OFF
OFF	ON	ON	ON
ON	OFF	OFF	ON
ON	OFF	ON	ON
ON	ON	OFF	ON
ON	ON	ON	ON

9.2.3. Función AND de funciones OR

La función AND de funciones OR consiste en la unión en serie de conjuntos en paralelo. Para que la salida de la función *y* tenga valor lógico 1 o nivel alto, se debe cumplir que los contactos de una o varias de las ramas del primer bloque tengan los contactos cerrados, del segundo bloque una o varias ramas tengan los contactos cerrados, del tercero si existiera ídem y así sucesivamente. En caso contrario, el circuito quedaría abierto y la función lógica *y* toma el valor 0 lógico o nivel bajo.



$y = (S1 + S2 + \overline{S3}) \cdot (S4 + \overline{S5} + S6)$

Figura 9.3. *Función AND de funciones OR.*

Se verifica el estado encendido o apagado por la siguiente tabla de verdad:

Tabla 9.3. Tabla de verdad de la función anterior AND de funciones OR.

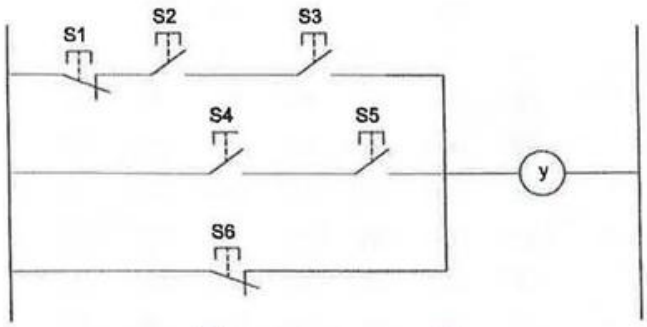
S1	S2	S3	S4	S5	S6	Y
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON
OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON
OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON
OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON
OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON
OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON
OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF
OFF	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF
OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF
OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF
OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF
OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	OFF
OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	OFF
OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON
OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF

Tabla 9.3. Tabla de verdad de la función anterior AND de funciones OR *(continuación).*

S1	S2	S3	S4	S5	S6	Y
OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON	ON
OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON
OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON
OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON
OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON
OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON
OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON
OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF
OFF	ON	ON	OFF	ON	ON	ON
OFF	ON	ON	ON	OFF	OFF	ON
OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	ON
OFF	ON	ON	ON	ON	OFF	ON
OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON

9.2.4. Función OR de funciones AND

Son combinaciones de la conexión en serie y paralelo. Para que la función *y* tenga un valor lógico 1 o nivel alto, cualquiera de sus ramas ha de tener valor 1 lógico y por tanto cualquiera de las ramas serie, dos o las tres, ha de tener todos sus contactos cerrados. En caso contrario, la función *y* toma valor 0 lógico o nivel bajo.



$$y = (\overline{S1} \cdot S2 \cdot S3) + (S4 \cdot S5) + \overline{S6}$$

Figura 9.4. *Función OR de funciones AND.*

Se verifica el estado encendido o apagado por la siguiente tabla de verdad:

Tabla 9.4. Tabla de verdad de la función anterior OR de funciones AND.

S1	S2	S3	S4	S5	S6	Y
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON
OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF
OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON
OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON	OFF
OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON
OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON
OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON
OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF
OFF	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON
OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF
OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON
OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF
OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON
OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON
OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON
OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF
OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON
OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON
OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON
OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON
OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON
OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON
OFF	ON	ON	OFF	ON	ON	ON
OFF	ON	ON	ON	OFF	OFF	ON
OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	ON
OFF	ON	ON	ON	ON	OFF	ON
OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON

9.3. Lógica de funciones

Un sistema digital es aquel que solo puede manejar dos valores, 0 y 1. Esto es, por ejemplo un transistor, que es un componente electrónico analógico, puede hacer tres funciones: contacto cerrado, contacto abierto o saturación. Dado que el estado de saturación es utilizado para amplificar señales, al tener estados intermedios es analógico y en lógica digital no lo tendremos en cuenta, haciéndolos trabajar únicamente en los dos únicos estados de conmutación o de contacto, abierto o cerrado, es decir: "todo" o "nada".

Lo que antes en lógica de contactos eran circuitos eléctricos formados por contactos en serie y paralelo, en lógica de funciones, o lo que se denomina lógica digital, se utilizan funciones o puertas digitales representadas por bloques gráficos, que combinándolos dan lugar a circuitos lógicos todo lo complejos que sea necesario.

Cuando se asocian estas puertas formando un circuito lógico, se reduce a un número de entradas y en general una salida.

A partir de una tabla de verdad, se obtendrá la función algebraica que rige el sistema o proceso. Para implementarlo físicamente se utilizan las puertas o funciones lógicas. Se introducen en las entradas del sistema las variables que solo pueden tomar dos estados, 0 o 1 (nivel alto o nivel bajo, verdadero o falso), realizando la suma, el producto, la negación, la igualdad o las operaciones exclusivas según la función algebraica. Por supuesto, sabiendo el esquema lógico, podemos llegar a la función algebraica y a su tabla de verdad.

Una de las grandes diferencias, entre otras muchas, de la **electrónica digital** frente a la lógica de contactos o lógica cableada, es que las **conmutaciones son internas**, es decir, no hay conmutaciones físicas que producen desgaste en las superficies de los contactos eléctricos al estar formados por circuitos integrados en cuyo interior hay cientos, miles o millones de transistores.

Es muy importante saber que **por convenio** hay **dos tipos de lógica:**

- **Lógica positiva:** se trata de aquella notación que establece que el uno lógico (1) es el nivel más alto de tensión o valor verdadero, y cero lógico (0) el nivel más bajo o valor falso. Es el que utilizaremos en todo momento en la unidad.
- **Lógica negativa:** se trata de aquella notación que establece que un uno lógico (1) es el nivel más bajo de tensión o valor falso, y un cero lógico (0) es el nivel más alto o valor verdadero, por tanto opuesta a la anterior y que no usaremos en la unidad.

A continuación se muestran los operadores básicos de la electrónica digital, llamados funciones o puertas lógicas. Se presentan las tablas de verdad de cada función, que son tablas en las que se indica qué valor toma la salida de la puerta en función de las posibles combinaciones de las variables que se introducen en las entradas. Cada fila corresponde a una combinación diferente, que es igual a 2^n, donde n es el número de variables.

La composición y características de una tabla de verdad se especifican a continuación:

- Una columna por variable (n columnas).
- Una fila por cada combinación posible de variables (total: 2^n filas).
- Una columna adicional para registrar el valor que toma la función o salida para cada combinación de variables.
- El total es de $n + 1$ columnas · 2^n filas.
- La tabla de verdad de una función es única.

Para formarla se procede de la siguiente manera:

1. Se escriben en la primera fila las variables que haya y en la última la salida obtenida.
2. Se empieza desde la última variable y en su columna, en filas, se escribe 0, 1, 0, 1, 0, 1...
3. En la siguiente variable anterior a la última, en su columna y en filas se escribe el doble de ceros y de unos, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1...
4. En la siguiente, el doble a la anterior y así hasta completar la tabla.
5. Se escribe en la salida qué combinaciones de las variables hacen uno lógico la función. El resto serán ceros lógicos.

9.3.1. Puerta lógica OR u "O"

Es la función que corresponde a la suma lógica de las entradas, es decir, su **salida** siempre es **uno lógico o nivel alto si por lo menos una de las variables de entrada es un uno lógico**. Pueden ser con dos entradas o más.

Su representación gráfica se puede hacer por los siguientes símbolos:

Figura 9.5. *Representación gráfica de la función OR u "O".*

Tabla 9.5. Tabla de verdad de la función OR u "O".

A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

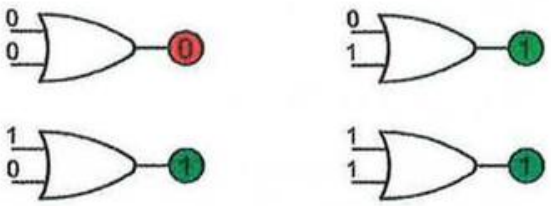


Figura 9.6. *Posibles estados de las entradas y salida de la función OR u "O" de dos variables.*

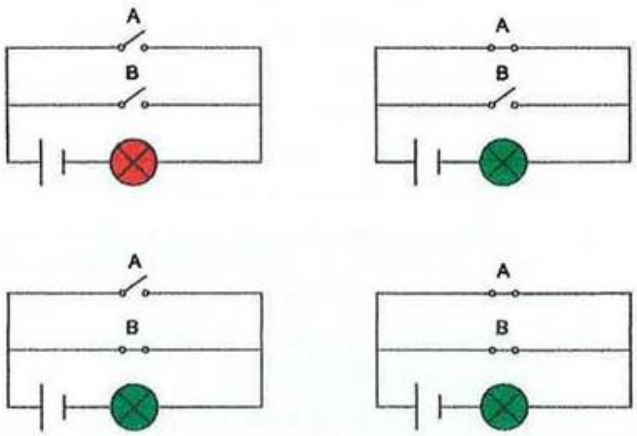


Figura 9.7. *Esquema eléctrico equivalente a la función OR u "O".*

9.3.2. Puerta lógica AND o "Y"

Es la función que corresponde al producto lógico de las entradas, es decir, su salida solo será uno lógico o nivel alto cuando todas las variables sean uno lógico.

Pueden ser con dos entradas o más.

Su representación gráfica puede ser dada por los siguientes símbolos:

Figura 9.8. *Representación gráfica de la función AND o "Y".*

Tabla 9.6. Tabla de verdad de la función AND o "Y".

A	B	S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

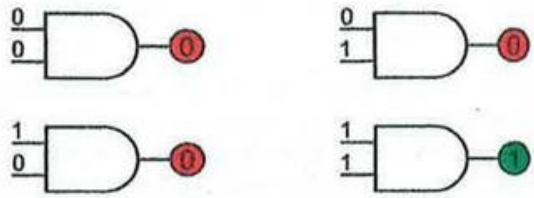


Figura 9.9. *Posibles estados de las entradas y salida de la función AND o "Y" de dos variables.*

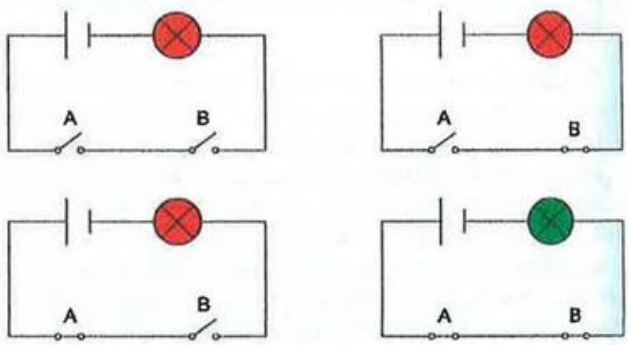


Figura 9.10. *Esquema eléctrico equivalente a la función AND o "Y".*

9.3.3. Puerta lógica NOT o "NEGACIÓN"

Es la función que corresponde a la negación de una variable, es decir, su salida siempre es el valor inverso de la entrada. La negación se representa con una línea encima de la variable o función, indicando que es el valor inverso o negado. También se dice que la variable negada es el complemento de la variable sin negar.

Solo tiene una entrada y una salida.

A veces, para negar las entradas de las puertas lógicas, y hacer más sencilla la visualización de los circuitos lógicos, se pone un **círculo de negación en la variable de entrada a la puerta** y así indicar que la **variable entra a la función lógica negada**.

Su representación gráfica puede ser dada por los siguientes símbolos:

Figura 9.11. *Representación gráfica de la función NOT o "NEGACIÓN".*

Tabla 9.7. **Tabla de verdad de la función NOT.**

A	S
0	1
1	0

Figura 9.12. *Posibles estados de las entradas y salida de la función NOT o "NEGACIÓN" de una variable.*

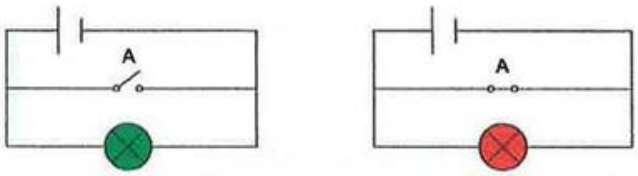


Figura 9.13. *Esquema eléctrico equivalente a la función NOT.*

SABÍAS QUE

La función lógica AND en lógica positiva actúa como una puerta lógica OR en lógica negativa, y una puerta OR en lógica positiva actúa como una puerta AND en lógica negativa.

Un inversor será siempre un inversor, aunque se use lógica positiva o negativa.

9.3.4. Puerta lógica NOR

Es la función que corresponde a la suma lógica de las entradas invertidas, es decir, su salida siempre es uno lógico o nivel alto si las dos variables de entrada son cero lógico o nivel bajo. En caso contrario, las salidas son cero lógico. Por tanto, se realiza la negación a la salida de la función OR.

Pueden ser con dos o más entradas.

Su representación gráfica puede ser por los siguientes símbolos:

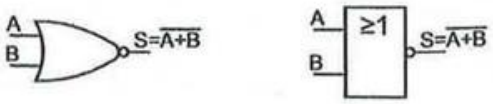


Figura 9.14. *Representación gráfica de la función NOR.*

Tabla 9.8. **Tabla de verdad de la función NOR.**

A	B	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

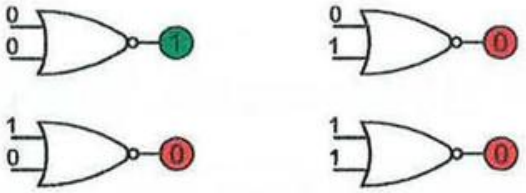


Figura 9.15. *Posibles estados de las entradas y salida de la función NOR de dos variables.*

9.3.5. Puerta lógica NAND

Es la función que corresponde a la negación del producto lógico de las entradas, es decir, su salida es siempre uno lógico si las entradas son simultáneamente distintas a uno lógico, en caso contrario la salida es cero lógico.

Por tanto, se realiza la negación a la salida de la función AND. Como veremos, el producto de dos variables se puede descomponer en la suma de las variables negada cada una de ellas independientemente.

Pueden ser con dos entradas o más.

Su representación gráfica puede ser por los siguientes símbolos:

Figura 9.16. *Representación gráfica de la función NAND.*

Tabla 9.9. **Tabla de verdad de la función NAND.**

A	B	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

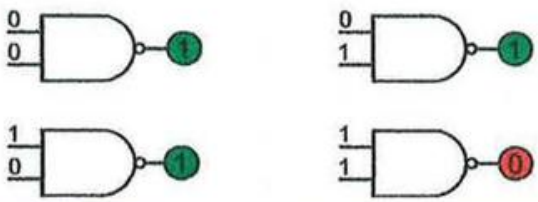


Figura 9.17. *Posibles estados de las entradas y salida de la función NAND.*

9.3.6. Puerta lógica X-OR u "OR EXCLUSIVA"

Es la función que corresponde a la suma directa de dos o más variables, es decir, **la salida es siempre uno lógico o nivel alto, si el número de unos de las entradas es impar,** en caso contrario, la salida es cero lógico o nivel bajo.

La suma directa de dos variables corresponde a la primera sin negar por la segunda variable negada más la primera negada por la segunda sin negar.

$$S = A \oplus B = \overline{A} \cdot B + A \cdot \overline{B}$$

Pueden ser con dos entradas o más.

Su representación gráfica puede ser por los siguientes símbolos:

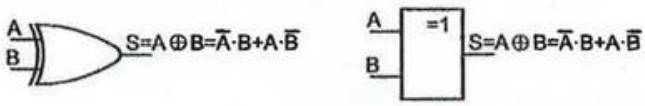


Figura 9.18. *Representación gráfica de la función X-OR u "OR EXCLUSIVA".*

Tabla 9.10. **Tabla de verdad de la función X-OR u "OR EXCLUSIVA".**

A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

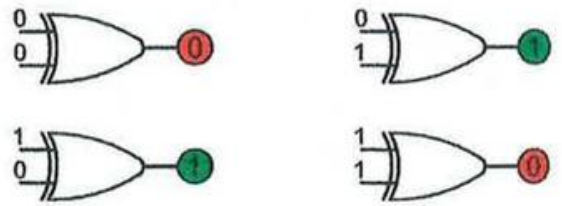


Figura 9.19. *Posibles estados de las entradas y salida de la función X-OR u "OR EXCLUSIVA" de dos variables.*

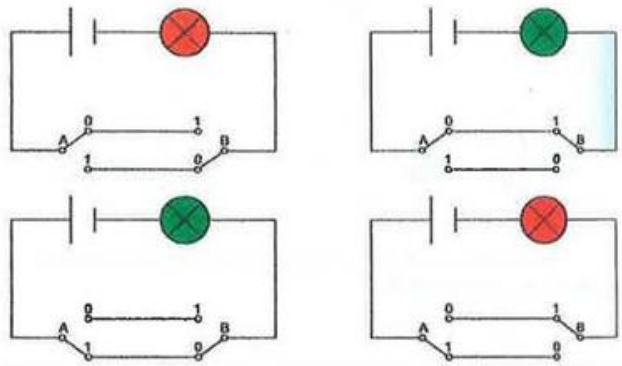


Figura 9.20. *Esquema eléctrico equivalente a la función X-OR u "OR EXCLUSIVA".*

9.3.7. Puerta lógica XNOR o "NOR EXCLUSIVA"

Es la función que corresponde a la **inversa de X-OR** (inversa de la suma directa de dos o más variables), es decir, **la salida es uno lógico o nivel alto, si el número de unos lógicos de las entradas es par.** En caso contrario, la salida es cero lógico o nivel bajo.

$$S = \overline{A \oplus B} = \overline{A} \cdot \overline{B} + A \cdot B$$

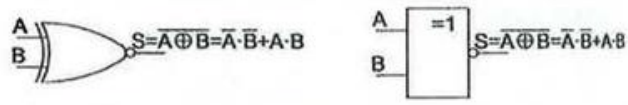


Figura 9.21. *Representación gráfica de la función XNOR o "NOR EXCLUSIVA".*

Tabla 9.11. **Tabla de verdad de la función XNOR o "NOR EXCLUSIVA".**

A	B	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Observar, que cuando llegan dos ceros en la entrada, se entiende que el número de unos lógicos en la entrada es par al no haber ningún uno.

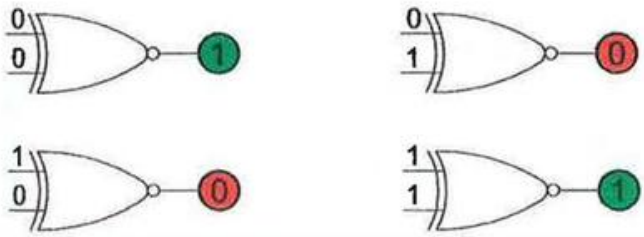


Figura 9.22. *Posibles estados de las entradas y salida de la función XNOR o "NOR EXCLUSIVA" de dos variables.*

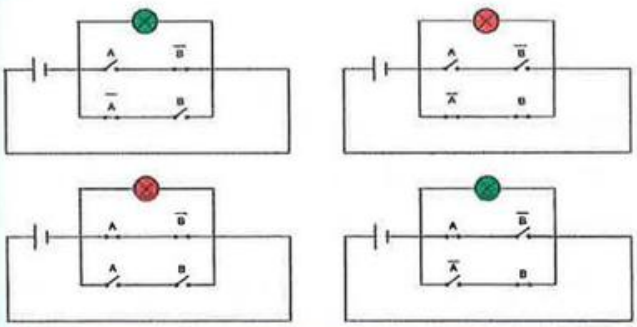


Figura 9.23. *Esquema eléctrico equivalente a la función XNOR o "NOR EXCLUSIVA".*

9.3.8. Puerta lógica IGUALDAD

Es la función que corresponde a dar en su salida el mismo valor lógico que tiene en la entrada. Se utiliza fundamentalmente para amplificadores digitales.

Figura 9.24. *Representación gráfica de la función IGUALDAD.*

Tabla 9.12. **Tabla de verdad de la función IGUALDAD.**

A	S
0	0
1	1

Actividad resuelta 9.1

Genera la tabla de verdad de la función X-NOR con tres entradas, e indica una aplicación donde se podría utilizar.

Solución:

Dado que existen tres variables, la puerta X-NOR es la suma directa de las tres variables, esto es, que su salida será un uno lógico cuando el número de unos en las entradas es par. Por tanto:

A	B	C	S
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Un uso práctico de esta puerta de dos o más variables es como comparador lógico, indicando que hay bits de entrada pares idénticos.

Estas puertas lógicas vistas anteriormente se venden en forma de circuitos integrados, denominándose en el argot electrónico "pastillas", en las que internamente tienen puertas lógicas internas (cuatro o más). Tienen los contactos o "patas" para conectar la alimentación, entradas y salidas a circuitos impresos, zócalos o placas de prueba (*protoboard* o *breadboard*).

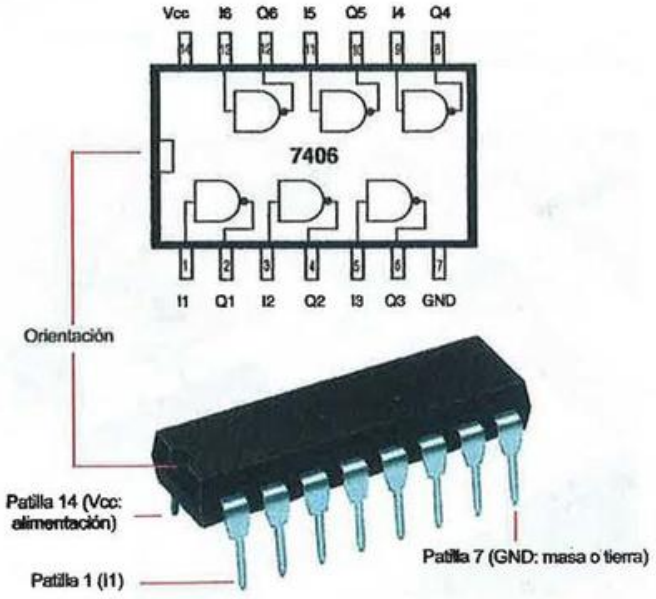


Figura 9.25. *Orientación e interpretación de uno de los circuitos integrados de tecnología TTL (Transistor-Transistor Logic) para implementación de puertas lógicas.*

SABÍAS QUE

Para introducir un uno lógico, nivel alto o valor verdadero, hay que aplicar una tensión de +5 V respecto a masa o tierra, mientras que para introducir un cero lógico, nivel bajo o valor falso hay que introducir 0 V respecto masa o tierra.

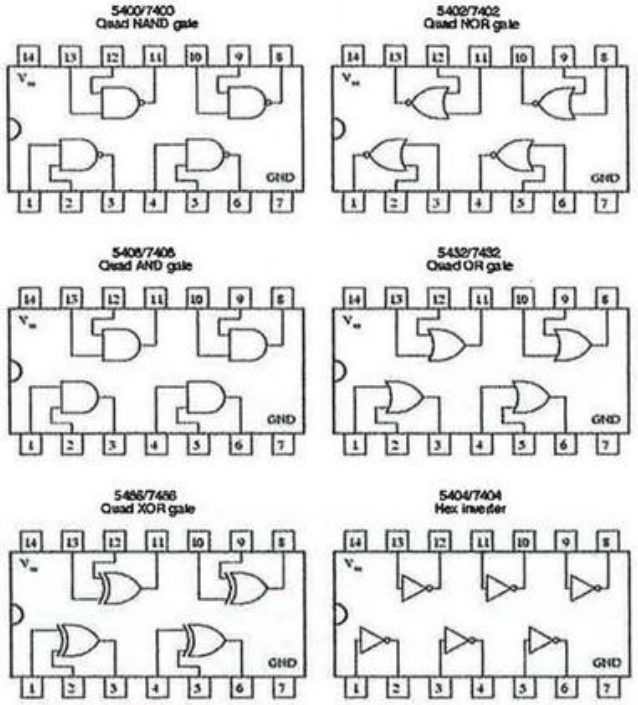


Figura 9.26. *Composición interna de algunos circuitos integrados de la familia TTL (Transistor-Transistor Logic).*

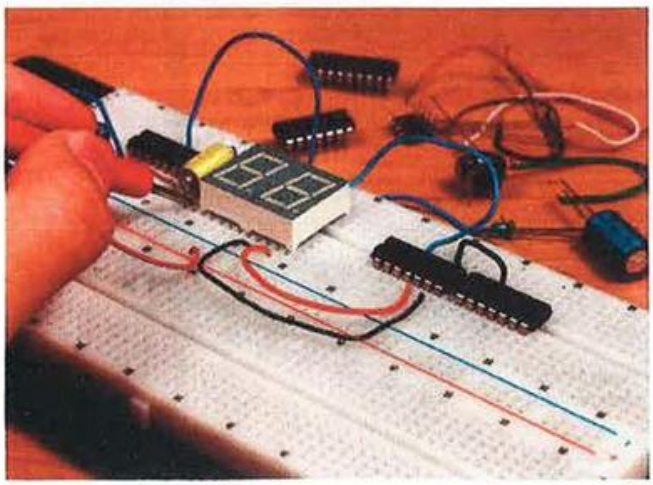


Figura 9.27. *Protoboard para realizar ensayos con componentes electrónicos, como los circuitos integrados con puertas lógicas para automatismos.*

9.4. Álgebra de Boole y teoremas de Morgan

George Boole fue un filósofo y matemático que fundamentó un sistema matemático, llamado álgebra de Boole, que mediante postulados, operaciones y relaciones lógicas fue capaz de solucionar problemas de automatismos y procesos, ya que con la manipulación y simplificación de la función inicial, realiza la misma tarea que con la ecuación primitiva.

SABÍAS QUE

El padre de George Boole, John Boole (1779-1848), era un comerciante de pocos recursos pero que se interesó por las matemáticas y la lógica y después enseñó a su hijo conocimientos básicos. Pero George Boole al principio mostró mayor interés por las humanidades demostrando más adelante su gran capacidad en las mismas disciplinas que su padre tuvo curiosidad.

El álgebra de Boole se distingue del álgebra convencional en que los elementos o variables que lo forman solo pueden **tomar dos estados, 0 y 1**, siendo números binarios o digitales.

9.4.1. Axiomas del álgebra de Boole

En álgebra, los **axiomas** son proposiciones que **no necesitan demostración**, por tanto sirven para establecer unas bases evidentes para poder demostrar otras ecuaciones más complejas. Los **axiomas de Boole son** por tanto **premisas que permiten demostrar los postulados que se verán a continuación.**

1. **Ley de clausura:** sus operadores son únicamente la suma y el producto lógicos, y se definen de la siguiente forma:

A	B	A+B	A·B
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	1

2. **Propiedad asociativa:**

$$A+(B+C)=(A+B)+C$$
$$A\cdot(B\cdot C)=(A\cdot B)\cdot C$$

3. **Propiedad conmutativa:**

$$A + B = B + A$$

$$A \cdot B = B \cdot A$$

4. **Propiedad distributiva:**

$$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$$

$$A + B \cdot C = (A + B) \cdot (A + C)$$

5. **Elementos neutros:** existe un elemento neutro para la suma (0) y un neutro para el producto (1).

$$A + 0 = A$$

$$A \cdot 1 = A$$

6. **Complemento:** todo elemento o variable en álgebra de Boole tiene su **complemento o negado y es único**. El complemento de A se simboliza con una línea horizontal encima de la variable $\overline{A}$.

$$A + \overline{A} = 1$$

$$A \cdot \overline{A} = 0$$

Su tabla de verdad es:

A	$\overline{A}$
0	1
1	0

7. **Dualidad:** en todas las expresiones booleanas, se cumple el principio de dualidad, que significa que cualquier identidad algebraica se puede transformar en otra identidad válida intercambiado (+) por (·) y 1 por 0.

RECUERDA

El producto de variables equivale a la conexión en serie, mientras que la suma equivale a circuitos conectados en paralelo. Un uno lógico o nivel alto significa lo mismo, que eléctricamente es un contacto cerrado. Un cero lógico o nivel bajo equivale a un contacto abierto.

- El operador de adición o unión (+) equivale a la función OR.
- El operador de producto o intersección (·) equivale a la función AND.
- El operador de inversión o complementación ($\overline{\ }$) equivale a la función NOT.

De estos axiomas, que no tienen demostración, se deducen los siguientes **teoremas del álgebra de Boole** y por tanto pudiendo demostrar cada uno de ellos.

Teorema 1. Idempotencia. Para cada variable, se cumple:

$$A + A = A$$

$$A \cdot A = A$$

Teorema 2. Elementos nulos. Para cualquier elemento, se cumple:

$$A + 1 = 1$$

$$A \cdot 0 = 0$$

Teorema 3. Absorción. Para cada par de variables, se verifica:

$$A + A \cdot B = A$$

$$A \cdot (A + B) = A$$

Teorema 5. Involución. En el álgebra booleana, el complemento de A es $\overline{A}$. Por tanto:

$$\overline{\overline{A}} = A$$

Su tabla de verdad es:

$\overline{A}$	A
0	0
1	1

Teorema 6. Cada elemento neutro es el complemento del otro.

$$\overline{0} = 1$$

$$\overline{1} = 0$$

Teorema 7. Para cada par de variables, se verifica:

$$A + \overline{A} \cdot B = A + B$$

$$A \cdot (\overline{A} + B) = A \cdot B$$

9.4.2. Teoremas de Morgan

Con los **teoremas de Morgan** se puede **convertir rápidamente una expresión booleana en *maxterms* y *minterms***. Además, permite la **eliminación de las barras de negación**.

La ley de Morgan generalizada dice que la inversa de una función se obtiene complementando cada una de las variables por separado que aparecen en ella y cambiando los operadores de suma (+) en (·) y viceversa.

$$\overline{A+B+C+\ldots+N} = \bar{A}\cdot\bar{B}\cdot\bar{C}\cdot\ldots\cdot\bar{N}$$

$$\overline{A\cdot B\cdot C\cdot\ldots\cdot N} = \bar{A}+\bar{B}+\bar{C}+\ldots+\bar{N}$$

Para cada par de variables, se verifica:

$$\overline{(A+B)} = \bar{A}\cdot\bar{B}$$

$$\overline{(A\cdot B)} = \bar{A}+\bar{B}$$

9.4.3. Expresiones y funciones booleanas

Una **expresión booleana** es una combinación de variables, constantes y operadores. Por ejemplo: $A\cdot B+\bar{B}\cdot C+\bar{A}\cdot 1$.

Las **funciones booleanas** son expresiones con variables: $f(A,B,C)=A\cdot B+\bar{B}\cdot C+\bar{A}\cdot 1$, de tal forma que en función de los valores que se den a las variables de la función, se obtiene un resultado, siendo en sistemas lógicos la variable de salida. Si se recogen todas las posibles combinaciones que pueden tomar las variables de la expresión y sus salidas, se obtiene la tabla de verdad de la función, para posteriormente obtener el circuito lógico que verifica la función.

Un ***minterm*** **es un término** de una función **formado por el producto de las variables** que componen la función, de tal forma que **cada variable aparece una sola vez** bien en forma normal o con su complemento o negación, es decir, **son sumas de productos.**

Ejemplo

$$S=f(A,B,C)=A\cdot B\cdot\bar{C}+\bar{A}\cdot B\cdot\bar{C}+A\cdot\bar{B}\cdot C$$

RECUERDA

El símbolo · se utiliza para indicar producto entre **letras o variables.**

El símbolo × es el operador que representa el producto de **números.**

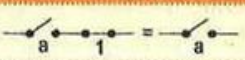
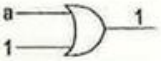
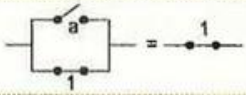
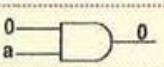
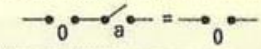
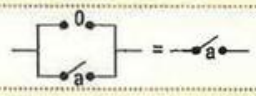
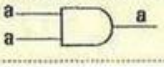
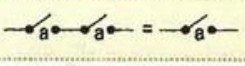
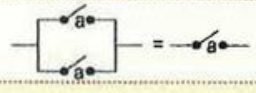
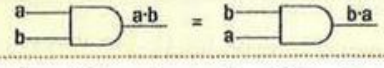
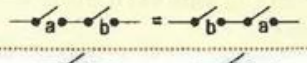
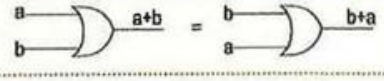
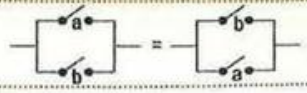
Un ***maxterm*** **es un término** de una función **formado por la suma de las variables** que componen la función, de tal forma que **cada variable aparece una sola vez** bien en forma normal o complementada, es decir, **son productos de sumas.**

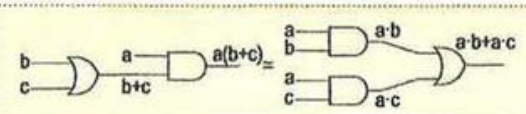
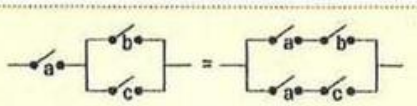
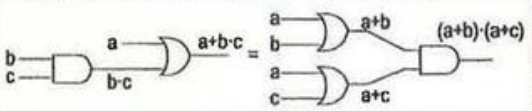
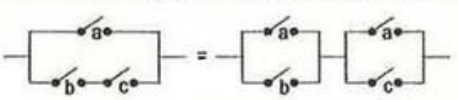
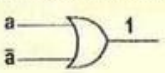
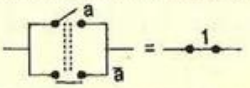
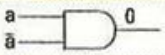
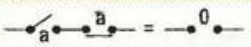
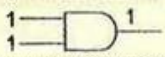
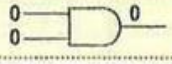
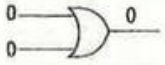
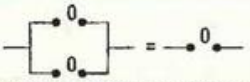
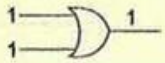
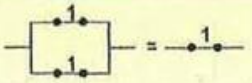
Ejemplo

$$S=f(A,B,C)=(A+B+\bar{C})\cdot(\bar{A}+B+\bar{C})\cdot(A+\bar{B}+C)$$

Para comprender adecuadamente los principios del álgebra o lógica de Boole, se indica la representación mediante puertas lógicas y contactos eléctricos, ya habituados a ello. Los axiomas, los teoremas y las leyes son prácticos para resolver las ecuaciones lógicas.

Tabla 9.13. Lógica de Boole con sus equivalentes lógicos y de contactos.

Álgebra de Boole	Representación con puertas lógicas	Representación con contactos
$a\cdot 1=a$		
$a+1=1$		
$0\cdot A=0$		
$0+a=a$		
$a\cdot a=a$		
$a+a=a$		
$a\cdot b=b\cdot a$		
$a+b=b+a$		

Álgebra de Boole	Representación con puertas lógicas	Representación con contactos
$a+b+c=(a+b)+c=$ $=a+(b+c)=(a+c)+b$		
$a\cdot b\cdot c=(a\cdot b)\cdot c=$ $=a\cdot(b\cdot c)=(a\cdot c)\cdot b$		
$a(b+c)=a\cdot b+a\cdot c$		
$a+b\cdot c=(a+b)\cdot(a+c)$		
$a+\bar{a}=1$		
$a\cdot\bar{a}=0$		
$\bar{\bar{a}}=a$		
$a=b \quad \bar{a}=\bar{b}$		
$1\cdot 1=1$		
$1\cdot 0=0$		
$0\cdot 0=0$		
$0+0=0$		
$1+1=1$		
$\bar{0}=1$		
$\bar{1}=0$		

Actividad resuelta 9.2

Simplifica la siguiente función booleana:

$$S=\bar{A}\cdot\bar{B}\cdot\bar{C}+\bar{A}\cdot B\cdot\bar{C}+A\cdot\bar{B}\cdot\bar{C}+A\cdot\bar{B}\cdot C$$

Solución:

Sacando factor común dos a dos sumandos ($\bar{A}\cdot\bar{C}$ y $A\cdot\bar{B}$) tenemos:

$$\bar{S}=\bar{A}\cdot\bar{C}\cdot(\bar{B}+B)+A\cdot\bar{B}\cdot(\bar{C}+C)$$

$$S=\bar{A}\cdot\bar{C}+A\cdot\bar{B}$$

Actividad propuesta 9.5

Simplifica las siguientes funciones:

a) $S=A\cdot\bar{B}\cdot C+\bar{A}\cdot B\cdot C+A\cdot B\cdot C$

b) $S=(\bar{A}+A\cdot B+A\cdot B\cdot\bar{C})\cdot(A+B+C)$

c) $S=A\cdot\bar{B}+B\cdot\bar{A}+A\cdot\bar{C}+AC+\bar{A}$

d) $S=\overline{\bar{B}\cdot(A+C)+B\cdot(\bar{A}\cdot C+A\cdot\bar{C})}$

9.5. Obtención del circuito lógico a partir de una tabla de verdad y viceversa

La electrónica digital es la tecnología en la que está fundamentada la automatización mediante automatismos programables industriales (API). Una vez tenemos los valores que se deben obtener en función de unas entradas determinadas, el objetivo es obtener el circuito lógico en el que se verifican esos valores de salida para todas las combinaciones posibles.

También podemos llegar a la tabla de verdad conociendo el circuito lógico. A continuación de muestran algunos ejemplos:

Obtención de un circuito lógico a partir de la tabla de verdad

A partir de la siguiente tabla de verdad:

Entradas			Salidas
A	B	C	S
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

En primer lugar, obtenemos la función lógica a partir de la tabla de verdad. Para ello, se siguen los siguientes pasos:

1. Nos fijamos en las salidas en las que se verifica (valor 1 lógico) la función.
2. En estas filas donde tenemos uno lógico, escribimos la expresión en *minterms* (sumas de productos) en las que cada término es el producto del estado de las variables. Sumando todos los términos de cada fila, obtenemos la función booleana de salida.

$$S = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} + \overline{A} \cdot B \cdot \overline{C} + A \cdot B \cdot \overline{C}$$

Una vez obtenida esta expresión, dibujamos el esquema lógico correspondiente, sabiendo que las variables con la línea encima es el complemento y por tanto la negación o una puerta NOT, los productos puertas AND, y las sumas puertas OR.

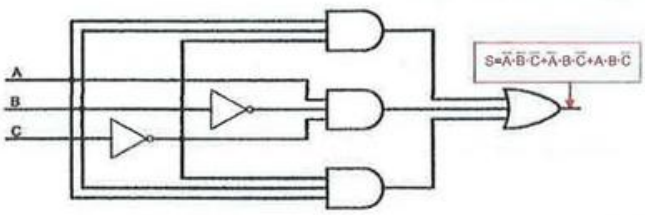


Figura 9.28. *Circuito lógico de la expresión.*

Obtención de la tabla de verdad a partir del circuito lógico

Para obtener la tabla de verdad del circuito lógico, primeramente se marcan las salidas de cada puerta con X1, X2 y X3. La salida será la función booleana que verifica el circuito, denominada S. En cada salida de cada puerta lógica, escribimos la operación que realiza, y la última puerta, al ser AND, sumamos todos los términos que se obtengan (S = X1 + X2 + X3).

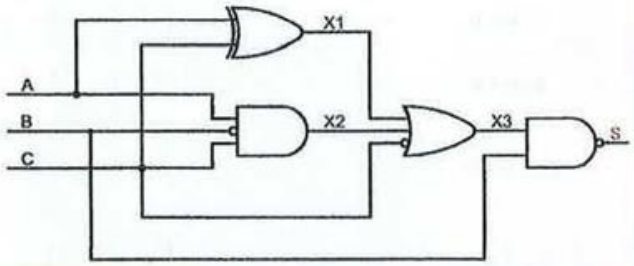


Figura 9.29. *Circuito lógico del que se desea obtener su tabla de verdad.*

RECUERDA

La negación a una entrada se puede representar sin necesidad de utilizar la función NOT en la entrada de la puerta lógica con un círculo.

$$X1 = \overline{A} \cdot C + A \cdot \overline{C}$$

$$X2 = A \cdot \overline{B} \cdot C$$

$$X3 = \overline{A} \cdot C + A \cdot \overline{C} + A \cdot \overline{B} \cdot C + \overline{C}$$

Siendo, por tanto, la función algebraica que rige el circuito lógico:

$$S = (\overline{A} \cdot C + A \cdot \overline{C} + A \cdot \overline{B} \cdot C + \overline{C}) \cdot B$$

Obtenida la expresión algebraica, dando valores a las variables A, B y C, para todas las combinaciones posibles, obtenemos las filas de la columna de salida, quedando completa la tabla de verdad.

Entradas			Salidas
A	B	C	S
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

Actividad propuesta 9.6

Realiza la tabla de verdad de las siguientes funciones:

a) $\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \cdot D + \overline{A} \cdot \overline{B}$

b) $\overline{A} \cdot B \cdot C \cdot D + A \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \cdot D + A \cdot C \cdot B + A \cdot B \cdot C \cdot \overline{D}$

c) $(\overline{A} + \overline{B} + C) \cdot (\overline{A} + B + C) \cdot (A + B + C)$

9.6. Simplificación de funciones booleanas

Mediante una tabla de verdad se puede obtener una expresión algebraica, y como se ha visto, podemos obtener directamente el circuito lógico que verifica esa función. Además, con las propiedades y teoremas de Boole y de Morgan, se puede transformar la función booleana y simplificar en gran medida la expresión y esto implica utilizar menos puertas lógicas.

Tabla 9.14. Diferentes formas de expresar funciones digitales.

Tabla de verdad	↔	Expresión algebraica (función booleana)
Expresión algebraica (función booleana)	↔ Simplificar la función aplicando axiomas, postulados de Boole y teoremas de Morgan ↔	Circuito o diagrama lógico (puertas lógicas) (mínimo número de puertas lógicas posible para su implementación física del circuito)

En electrónica digital, el objetivo del diseñador es encontrar el circuito lógico que, realizando la misma función, cumpla idénticamente la tabla de verdad, ya que esta, sí es única para todas las expresiones algebraicas que verifiquen la tabla de verdad

9.6.1. Métodos de simplificación de funciones

A veces, se conoce el circuito lógico y lo que interesa es extraer de él la función lógica que cumpla todas las combinaciones posibles como se ha visto anteriormente, y simplificarla lo máximo posible para que la implementación sea más sencilla.

Para ello, existen varios métodos que dependen de la complejidad de la tabla de verdad o función algebraica. Estas técnicas pueden ser:

1. Observando la tabla de verdad, puede simplificarse el circuito lógico directamente si él o parte de él realiza la función equivalente a alguna de las puertas lógicas conocidas. Este método requiere práctica y es el menos sistemático.
2. Sacar factor común y aplicar los teoremas de la función algebraica deducida directamente de la tabla de verdad. Este método no siempre es lo suficientemente potente para obtener la función óptima.
3. Simplificación mediante procedimientos sistemáticos que son sencillos de aplicar, pero requieren que la función esté en forma de *minterms* o *maxterms*, siendo sencillas de obtener a partir de la tabla de verdad. Existen dos métodos, que son:
   - Diagramas o mapas de **Karnaugh**, utilizados para funciones de hasta seis variables, obteniendo una forma de la expresión con menor número de términos y variables posibles.
   - Método de **Quine-McClustey**, el cual no trataremos, ya que es utilizado para más de seis variables y está basado en programación por ordenador.

A continuación se explica la manera de simplificar las **funciones lógicas booleanas en forma de *minterms* mediante el diagrama de Karnaugh de hasta seis variables, partiendo de la tabla de verdad.**

Además de todo esto e independientemente del método utilizado, todo circuito lógico se puede implementar mediante puertas NAND o NOR exclusivamente, para así emplear el menor número de circuitos integrados y además por ser los más baratos.

9.6.2. Simplificación de funciones lógicas mediante diagramas o mapas de Karnaugh

El diagrama o mapa de Karnaugh consiste en simplificar mediante teoremas, pero de un modo visual, elaborando un diagrama, que no es otra cosa que una transcripción de la tabla de verdad con un formato determinado para poder aplicar una sistemática generalizada que simplifique la función gráfica y su máxima expresión.

Aunque los diagramas de Karnaugh son prácticos hasta seis variables, se verá únicamente la simplificación de funciones hasta cuatro variables. El objetivo es familiarizarse y conocer el proceso de simplificación mediante esta metodología.

El formato del diagrama de Karnaugh y la posición de las variables en las casillas es la siguiente, no pudiendo ser de otra manera: para una función lógica con dos variables, se realiza una tabla o cuadrícula con la siguiente configuración, de tal forma que en la primera columna se pone la variable A en sus dos estados posibles, y en la primera fila, la variable B con los dos estados que puede tomar, ambas variables, 0 o 1.

Tabla 9.15. Formato del diagrama de Karnaugh para funciones lógicas de dos variables.

A \ B	$\bar{B}$	B
	0	1
$\bar{A}$	0	
A	1	

En el caso de tener funciones booleanas con tres variables, en la primera columna se pone el estado de las dos primeras variables, realizando las combinaciones posibles tal cual se muestran a continuación, y en la primera fila, los valores posibles de la tercera variable.

RECUERDA

Las tablas de Karnaugh están basadas en teoremas matemáticos y no se puede alterar el orden de la colocación de las variables.

Tabla 9.16. Formato del diagrama de Karnaugh para funciones lógicas de tres variables.

A B \ C	$\bar{C}$	C
	0	1
$\bar{A}\ \bar{B}$ 00		
$\bar{A}$ B 01		
A B 11		
A $\bar{B}$ 10		

En el caso de tener cuatro variables en la función lógica, se pone en la primera columna los valores que pueden adoptar las dos primeras variables y en la primera fila las otras dos, con las combinaciones que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 9.17. Formato del diagrama de Karnaugh para funciones lógicas de cuatro variables.

A B \ C D	$\bar{C}\ \bar{D}$	$\bar{C}$ D	C D	C $\bar{D}$
	00	01	11	10
$\bar{A}\ \bar{B}$ 00				
$\bar{A}$ B 01				
A B 11				
A $\bar{B}$ 10				

SABÍAS QUE

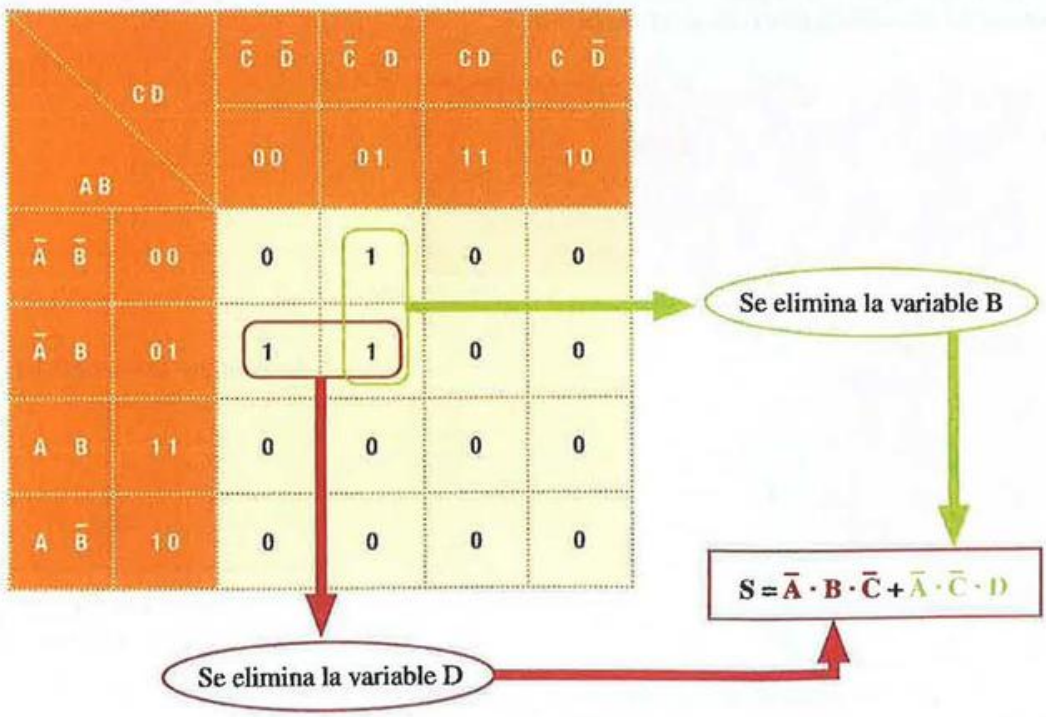
La posición de las variables en el diagrama de Karnaugh es diferente a la colocación de la tabla de verdad, ya que este corresponde al código de Gray, el cual es similar al binario pero de un número al siguiente solo varía un bit.

Una vez se distinguen los diferentes formatos y respetando el orden de las combinaciones, se muestra el proceso a seguir:

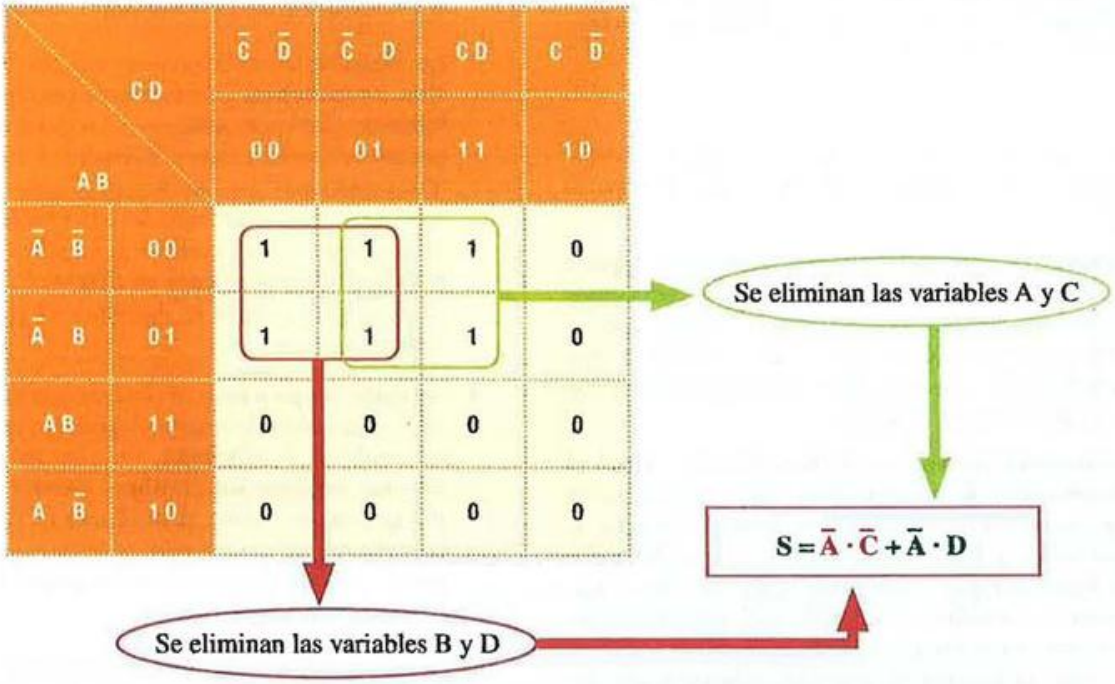
1. **Obtener la tabla de verdad de la función lógica.** Esta puede venir dada directamente, o si conocemos la función que queremos simplificar, si es posible, se obtienen los valores en que la salida es uno lógico para todas las combinaciones posibles como se ha realizado en casos anteriores.
2. **Transcribir los valores de la tabla de verdad al diagrama de Karnaugh.** Para ello, observamos de qué combinaciones de las variables se obtiene el uno lógico y los ponemos en las casillas del mapa de Karnaugh que corresponda según los valores que tomen las variables, de acuerdo con el diagrama que corresponda según el número de variables. En caso de tener la función en *minterms*, por cada término se pone un uno lógico en el diagrama. El resto de casillas, obviamente, serán cero.
3. **Agrupar los unos lógicos en grupos de 2, 4, 8, 16... formando un lazo**, es decir, los grupos a formar serán de 2^n unos lógicos, siendo $n = 1, 2, 3, 4...$ Para 2 variables, **el grupo máximo de unos lógicos** que se puede agrupar si la posición de unos lo permite, es de 4, para 3 variables, 8, para 4 variables, 16, y para 5 y 6 variables, 32 y 64 respectivamente.

   La forma de agrupar los unos lógicos puede ser **en filas, en columnas y en forma de matriz (filas y columnas)** pudiendo **utilizar unos comunes a otros grupos** e incluso **entre laterales y esquinas del diagrama opuestos**. Es decir, es como si el diagrama fuera una proyección de una esfera, donde los laterales y esquinas coinciden. Lo que **no está permitido es formar grupos en diagonal**. Ejemplos de formación de grupos se muestran en las siguientes figuras.
4. **De cada grupo o lazo** se observa qué variable o variables cambian de estado. **Aquella o aquellas que se cambien, se eliminan**. En caso de quedar **más de una variable sin eliminar dentro de un mismo grupo, se realiza el producto de las variables** de cada grupo, obteniendo un término que se suma con el resto de términos de otros grupos formando la función simplificada.

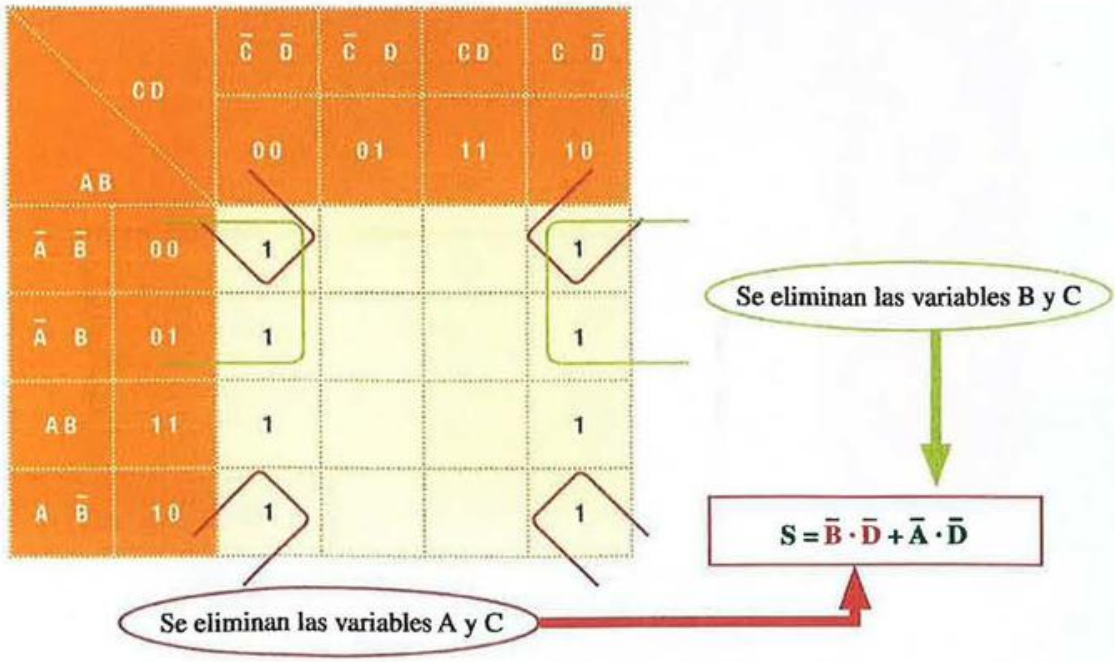
   En el siguiente diagrama de Karnaugh se muestra un ejemplo de agrupación de dos lazos con dos unos lógicos cada uno. En el grupo rojo, al cambiar de estado la variable D, se elimina, quedando $\overline{A} \cdot B \cdot \overline{C}$, y en el lazo verde formado por dos unos, se elimina la variable B al cambiar de estado, quedando $\overline{A} \cdot \overline{C} \cdot D$.



En el siguiente mapa de Karnaugh se muestra un ejemplo de agrupación de dos lazos en forma de matriz, formados por cuatro unos lógicos cada uno. En el grupo rojo, al cambiar de estado la variable B y D, se eliminan, quedando $\overline{A} \cdot \overline{C}$, y en el lazo verde formado por cuatro unos, se elimina la variable B y C al cambiar de estado, quedando $\overline{A} \cdot D$.



En el siguiente diagrama de Karnaugh se muestra un ejemplo de agrupación de dos lazos en forma de matriz, formados por cuatro unos lógicos cada uno. **El grupo rojo, está formado por las esquinas del diagrama, como si las esquinas se juntaran en un único punto habiendo continuidad entre ellas formando una esfera.** Al cambiar de estado, las variables A y C se eliminan, quedando $\overline{B} \cdot \overline{D}$. **El lazo verde está formado por cuatro unos, formados entre ambos laterales derecho e izquierdo, ya que están comunicados entre sí**, eliminándose las variables B y C al cambiar de estado, quedando $\overline{A} \cdot \overline{D}$.



Actividad resuelta 9.3

Simplifica la siguiente función lógica:

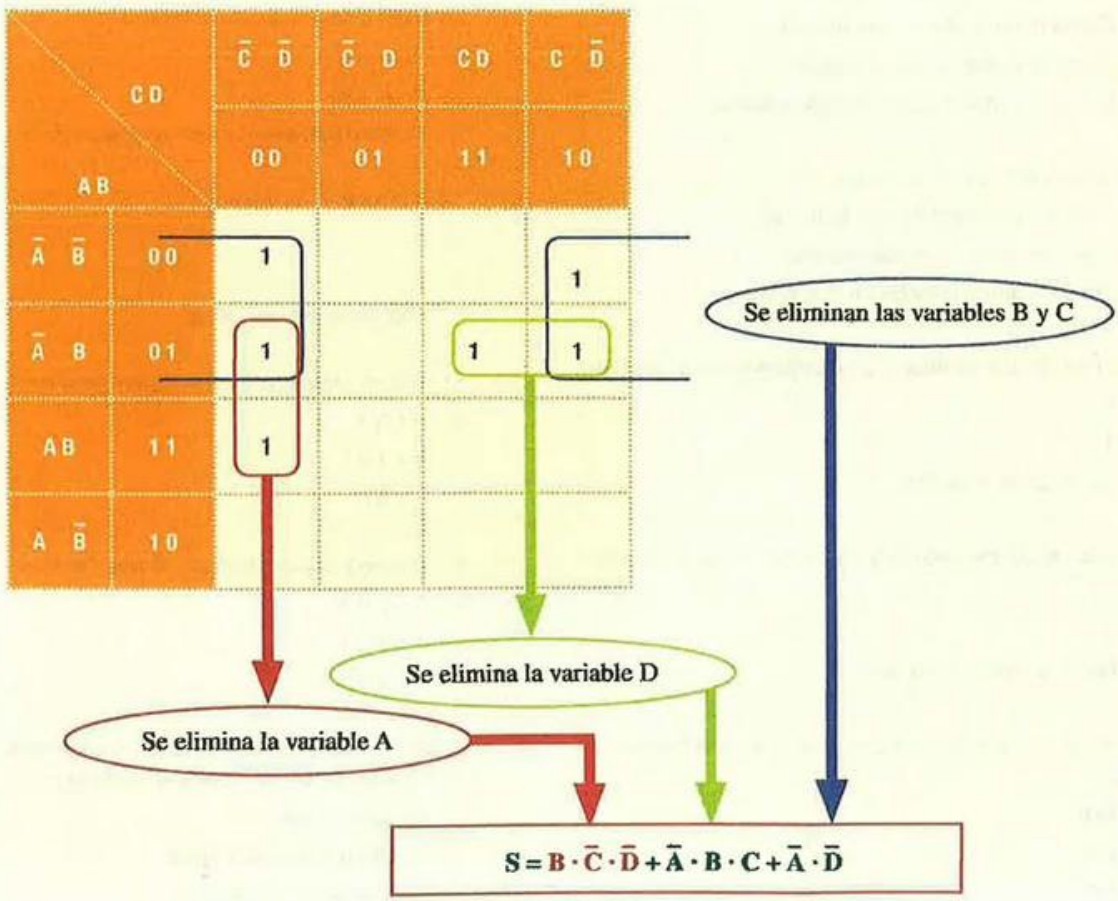
$$S=\bar{A}\cdot\bar{B}\cdot\bar{C}\cdot\bar{D}+\bar{A}\cdot\bar{B}\cdot C\cdot\bar{D}+\bar{A}\cdot B\cdot\bar{C}\cdot\bar{D}+\bar{A}\cdot B\cdot C\cdot\bar{D}+\bar{A}\cdot B\cdot C\cdot D+A\cdot B\cdot\bar{C}\cdot\bar{D}$$

Solución:

La tabla de verdad será la siguiente, siendo la salida 1 para cada uno de los términos de la expresión, teniendo en cuenta que una variable es 1 cuando está escrita normal y 0 cuando tiene el complemento encima de la variable.

Entradas				Salidas
A	B	C	D	S
0	0	0	0	1
0	0	0	1	0
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
0	1	1	1	1

Entradas				Salidas
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	1
1	1	0	1	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	0



Actividades de comprobación

9.1. ¿A qué número en hexadecimal corresponde el número decimal 13?
- a) 13.
- b) A.
- c) D.

9.2. ¿El complemento a-1 del número 5 es?
- a) 1 0 1.
- b) 0 1 0.
- c) 1 1 0.

9.3. ¿Cómo se representa el número negativo -6?
- a) 0 1 1 0.
- b) 1 1 1 0.
- c) 1 0 1 0.

9.4. La función lógica AND se representa:
- a) Como el producto de sus entradas.
- b) Como la suma de sus entradas.
- c) Como la suma negada de sus entradas.

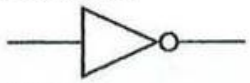
9.5. La función lógica OR se representa:
- a) Como el producto de sus entradas.
- b) Como la suma de sus entradas.
- c) Como la suma negada de sus entradas.

9.6. La suma de una variable y su complemento da siempre:
- a) 0.
- b) 1.
- c) No se pueden sumar.

9.7. El producto de una variable y su complemento da siempre:
- a) 0.
- b) 1.
- c) No se pueden multiplicar.

9.8. ¿Cuál de las siguientes opciones no es una función lógica?
- a) AND.
- b) RO.
- c) NOT.

9.9. ¿Qué representa el símbolo?



- a) Una función AND.
- b) Una función OR.
- c) Una función Inversor

9.10. ¿Cuál de las siguientes expresiones es correcta?
- a) $A + B = B \cdot A$.
- b) $A + 1 = \overline{A} \cdot 0$.
- c) $A + B = B + A$.

9.11. La expresión $\overline{A \oplus B}$ es igual a:
- a) $\overline{A} \cdot \overline{B} + A \cdot B$.
- b) $\overline{A} \cdot B + A \cdot \overline{B}$.
- c) $\overline{A} \cdot \overline{B}$.

9.12. La expresión $A + A \cdot B$ es igual a:
- a) A.
- b) $\overline{A} \cdot A + \overline{B}$.
- c) El resultado siempre toma el valor 1.

9.13. La elemento $\overline{0}$ es igual a:
- a) 0.
- b) 1.
- c) Ese elemento no existe.

9.14. El número binario 0101 en código Gray es:
- a) 1 1 0 1.
- b) 0 1 1 1.
- c) 0 1 0 0.

9.15. El número binario 10110 en código Gray es:
- a) 0 1 0 0 1.
- b) 1 0 1 1 1.
- c) 1 1 1 0 1.

9.16. ¿Qué método permite convertir rápidamente una expresión booleana en *maxterms* o *minterms*?
- a) El código Gray.
- b) Los diagramas de Kernel.
- c) Los teoremas de Morgan.

Actividades de aplicación

9.1. ¿Cuáles son los números que integran el sistema octal?, ¿y el sistema hexadecimal?

9.2. En la conversión de un sistema de numeración a otro diferente, ¿qué significa el bit más significativo y el menos significativo?

9.3. Explica cómo realizarías la conversión de un número decimal a octal.

9.4. ¿Cómo se representa un número negativo?

9.5. ¿Cómo se obtiene el complemento a 2 de un número decimal? ¿Para qué se emplea el complemento a 2 de un número?

9.6. ¿En qué se diferencia el código Gray del código binario?

9.7. ¿Cuál es la diferencia entre la lógica positiva y la lógica negativa?

9.8. Indica la ecuaciones lógicas de las puertas lógicas, con dos entradas: OR, AND, NOR, NAND, XOR, XNOR; y con una entrada: NOT

9.9. Según la Ley de Morgan, ¿cuáles son los elementos neutros? Pon un ejemplo.

9.10. ¿En qué se basa el principio de dualidad según el álgebra de Boole?

9.11. ¿Qué es un *minterms* y un *maxterms* según las leyes de Morgan?

9.12. ¿Para qué se emplean los diagramas de Karnaugh?

9.13. Convierte a binario los números:

a) 123_{10}

b) 84_{10}

c) 285_{10}

d) 526_{10}

9.14. Convierte a octal los números:

a) 261_{10}

b) 462_{10}

c) 4037_{10}

d) 6654_{10}

9.15. Convierte de hexadecimal a decimal:

a) $2A4_{16}$

b) $B8C2_{16}$

c) 920_{16}

d) $T31AF_{16}$

9.16. Convierte de octal a binario:

a) 125_8

b) 701_8

c) 436_8

d) 260_8

9.17. Representa en un diagrama de Karnaugh las siguientes funciones:

a) $f(A,B) = \overline{A} + AB$

b) $f(A,B,C) = \overline{A}\overline{B}\overline{C} + BC + A\overline{B}\overline{C}$

c) $f(A,B,C,D) = \overline{A}\overline{B} + CD + AB\overline{C}\overline{D}$

d) $f(A,B,C,D) = \overline{B}\overline{C}\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}D + BC + \overline{A}C\overline{D}$

9.18. Simplifica por Karnaugh las funciones:

a) $f(A,B,C,D) = AB\overline{C}\overline{D} + AB\overline{C}D + A\overline{B}\overline{C}\overline{D} + A\overline{B}\overline{C}D + A\overline{B}C\overline{D} + \overline{A}\overline{B}C\overline{D} + \overline{A}BC\overline{D} + \overline{A}BCD + \overline{A}\overline{B}C\overline{D} + \overline{A}BC\overline{D}$

b) $f(A,B,C,D) = \overline{A}\overline{B}CD + \overline{A}B\overline{C}\overline{D} + \overline{A}B\overline{C}D + AB\overline{C}D + \overline{A}BCD + \overline{A}BC\overline{D} + A\overline{B}\overline{C}\overline{D} + A\overline{B}CD$

9.19. Realiza el esquema lógico de las siguientes funciones booleanas:

a) $S = \overline{A} \cdot B \cdot C + \overline{B}(A \cdot \overline{C} + C)$

b) $S = (\overline{A} \cdot \overline{B} + A \cdot C) \cdot (\overline{A} + \overline{B} \cdot C)$

c) $S = (A + \overline{B} + \overline{C}) \cdot (\overline{A} + B \cdot C)$

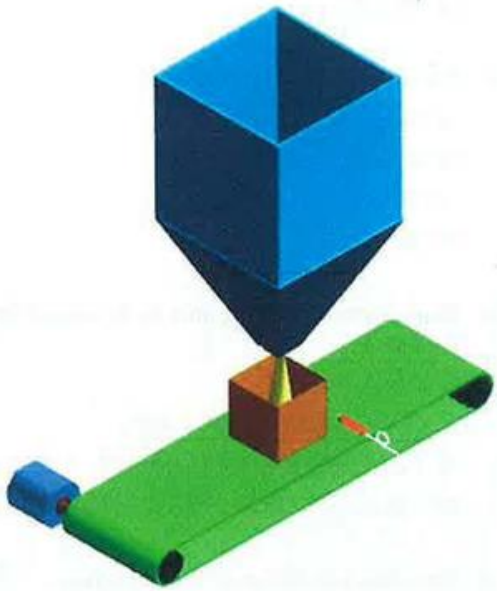
9.20. Representa el esquema lógico y de contactos de la expresión: $S = (A + C) \cdot B + B \cdot \overline{C}$

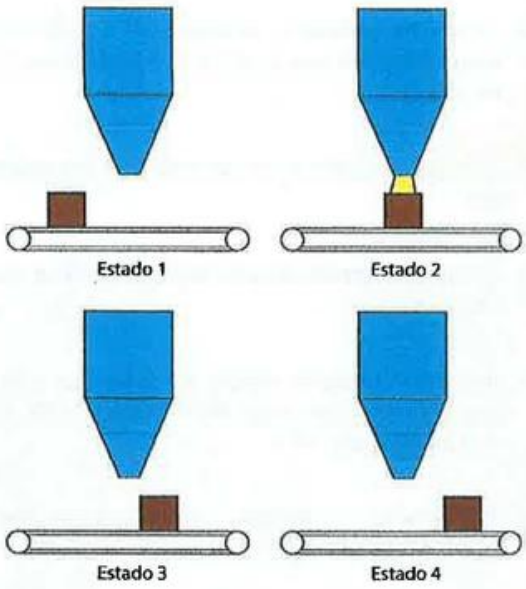
Casos prácticos

9.1. A continuación se representa un proceso industrial en el que el funcionamiento de todos sus componentes se expresa en sistema binario (1 en marcha/activado – 0 paro).

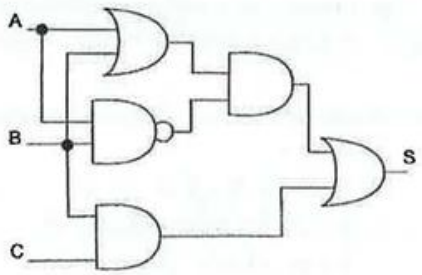
Analiza el proceso, explica su funcionamiento y realiza los esquemas de potencia y de maniobra completos asociados al mismo.

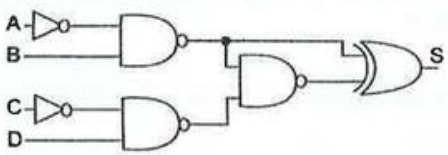
Tolva	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
Motor	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
Detector	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
Temporizador	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Estado 1					Estado 2			Estado 3		Estado 4	





9.2. De los circuitos lógicos representados, obtén:

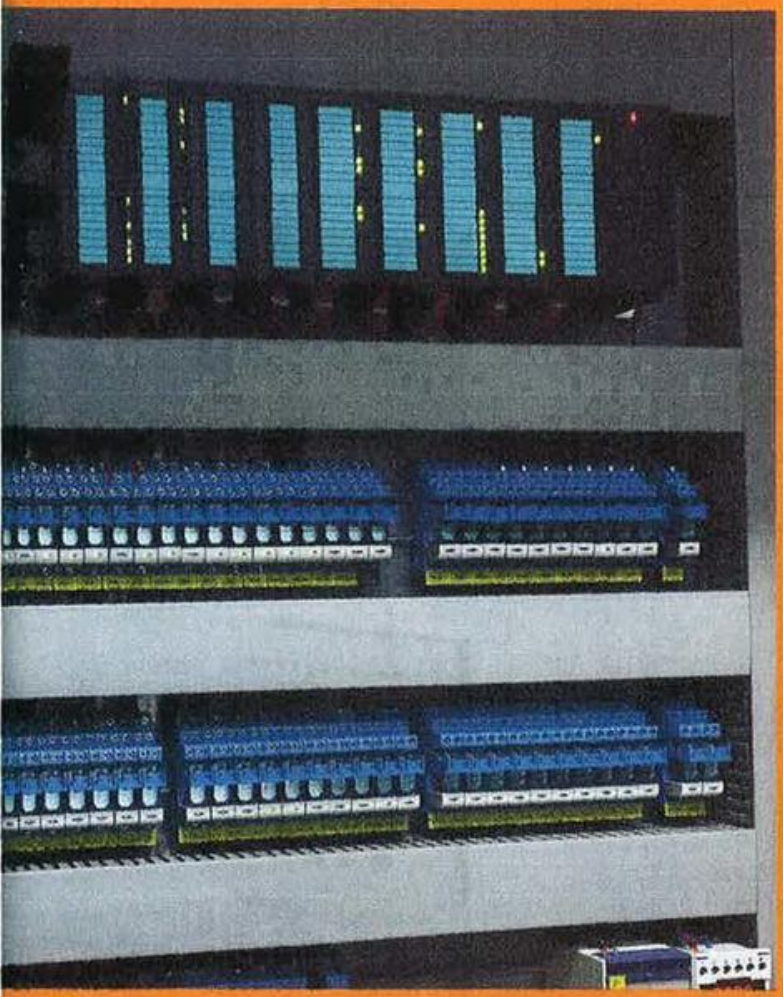




a) La ecuación de la salida en *minterms*.
b) La tabla de verdad que rige el sistema.
c) El diagrama o mapa de Karnaugh.
d) Obtén a partir del apartado anterior las ecuaciónes simplificadas en suma de productos y productos de sumas.
e) Dibuja el esquema lógico de las ecuaciones en *minterms* y *maxterms* simplificadas.

El autómata programable

10



Los autómatas programables han supuesto una revolución en aquellas tareas donde se requiere automatizar un proceso. No importa si el proceso es simple o complejo, existe una diversidad de versiones de autómatas con lo que es posible encontrar el adecuado.

La siguiente fase de la instalación del autómata programable es su programación. Existen varias maneras de realizar dicha programación. Con la programación se consigue que el sistema responda adecuadamente a las instrucciones marcadas por el técnico.

Contenidos

- 10.1. Los automatismos programados
- 10.2. Las ventajas y los inconvenientes
- 10.3. La estructura del autómata programable
- 10.4. Los paneles de operación
- 10.5. Las tarjetas de memoria
- 10.6. Las comunicaciones industriales
- 10.7. Los sistemas SCADA
- 10.8. Los circuitos eléctricos en los autómatas
- 10.9. La programación de autómatas
- 10.10. La programación mediante bloques funcionales
- 10.11. La programación mediante diagrama de contactos
- 10.12. La programación mediante lista de instrucciones
- 10.13. Los diagramas de Grafcet

Objetivos

- Aprender qué es un autómata programable y qué se puede conseguir con él.
- Conocer las diversas partes que lo componen.
- Saber realizar el montaje de un circuito con lógica programada.
- Conocer los diversos lenguajes de programación orientados a los autómatas.
- Aprender el lenguaje de programación de bloques funcionales.
- Aprender el lenguaje de programación de contactos.
- Conocer el lenguaje de programación de lista de instrucciones.

10.1. Los automatismos programados

A la hora de diseñar un automatismo hay dos caminos: realizar el automatismo mediante **tecnología cableada**, en la cual la manera de funcionar depende de los elementos empleados y la forma de interactuar entre ellos (tarea que se realiza mediante el cableado), o bien emplear la **tecnología programada**, en la cual mediante un programa se establece cómo debe responder el sistema ante estímulos en las entradas.

Los sistemas cableados son útiles en sistemas fijos donde no se necesita modificar la forma de funcionamiento.

Los sistemas programados se emplean en sistemas complejos donde un cambio en el programa o forma de actuar no implica un cambio en los elementos que lo integran.

Los autómatas programables también reciben el nombre de **PLC** (*Programmable Logic Controller*, controlador lógico programable).

SABÍAS QUE

En el argot técnico se denomina simplemente autómata a los **autómatas** programables o PLC.

10.2. Las ventajas y los inconvenientes

El emplear una tecnología u otra supone una serie de ventajas e inconvenientes. Entre las ventajas están:

- Posibilidad de introducir **cambios** sin realizar modificaciones del cableado.
- **Reducción de tiempo** en la puesta en marcha al reducir el cableado.
- **Reducción de costes de mano de obra** de la instalación.
- **Reducción de costes asociados al mantenimiento.** Fiabilidad de los autómatas junto con la detección de averías.
- Posibilidad de **recogida de datos de históricos**, debido a la memoria de almacenamiento.
- Posibilidad de **obtener datos de funcionamiento** en tiempo real.
- Posibilidad de **comunicarse** con otros autómatas.

Pero entre sus inconvenientes están:

- **Alta cualificación** del personal técnico, por la tarea de programación de los autómatas.
- **Alto coste material** de la instalación. Pero puede ser compensado con sus ventajas.

10.3. La estructura del autómata programable

Atendiendo a su estructura externa, los autómatas se clasifican en:

- **Compactos.** Todos los elementos necesarios están agrupados y se integran un único dispositivo. Son ideales para pequeñas aplicaciones con pocas entradas y salidas.

Figura 10.1. *Logo. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 10.2. *Zelio. (Cortesía de Schneider.)*

Figura 10.3. *Easy. (Cortesía de Moeller.)*

Figura 10.4. *S7-1200. (Cortesía de Siemens.)*

- **Modulares.** Se componen de varios módulos, donde cada módulo cumple con una función específica, por ejemplo: entradas analógicas, entradas digitales, salidas, comunicaciones, etc. Permiten fácilmente la ampliación del sistema hasta cubrir las necesidades.
- **Semicompactos.** Casi todos los módulos están agrupados salvo algunos de ellos, como por ejemplo la fuente de alimentación, comunicaciones, etc.

A nivel interno, un autómata se compone de las siguientes partes:

- **CPU.** Es la parte más importante del autómata. Se encarga de leer las entradas y activar las salidas en función de un programa.
- **Memorias.** Las hay de dos tipos: las tipo ROM (ROM, EPROM y EEPROM) que son memorias de solo lectura, estas no pierden su información ante un corte de energía; y las memorias RAM, que son unas memorias de lectura/escritura y ante un corte de energía pierden su información.

  Las memorias se emplean de tres formas:

  — Memoria de usuario: es donde se almacena el programa del usuario. Es una memoria RAM que cuenta con el respaldo de una pequeña batería para evitar la pérdida de su información ante un corte de energía. Algunos autómatas cuentan con una memoria tipo EPROM y EEPROM en las que el fabricante ha almacenado previamente el programa.

  — Memoria de tabla de datos: es una memoria tipo RAM. Aquí se almacenan la imagen de las tablas de los estados de entrada y salida junto con las variables de los programas y datos internos (contadores, temporizadores, etc.).

  — Memoria y programa del sistema: se encuentra dividida en dos áreas: por un lado está el programa del sistema o *firmware* (que es grabado por el fabricante en la memoria tipo ROM) y la memoria que junto con el procesador componen la CPU.
- **Interface de entrada.** Adapta las señales de entrada para que las entienda la CPU.
- **Interface de salida.** Es el encargado de preparar las órdenes de la CPU en valores de salida.
- **Interface de periféricos.** Son el resto de elementos que pueden conectarse al autómata, como por ejemplo: una consola de programación, un panel de operación, otros PLC, impresoras, etc.

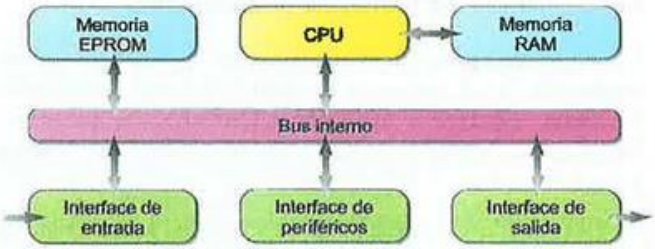


Figura 10.5. *Estructura interna de un autómata programable.*

10.3.1. La CPU

Es la parte más importante del PLC, cumpliendo varias funciones:

- Procesar las instrucciones del programa. Se encarga de ejecutar las instrucciones del programa de manera secuencial y de forma cíclica. La velocidad de procesamiento es muy alta.
- Leer el estado de las entradas.
- Activar las salidas.
- Comprobar todo el sistema. Se cuenta con una serie de alarmas que el autómata vigila.

Figura 10.6. *Varias CPU de la serie S7-300. (Cortesía de Siemens.)*

SABÍAS QUE

Hay una función en los autómatas que se denomina *watchdog* (perro guardián). Se encarga de comprobar que la ejecución del programa no excede de un tiempo.

Los diversos fabricantes agrupan sus modelos en función de la CPU.

10.3.2. La fuente de alimentación

Los autómatas programables funcionan internamente a una tensión de 24 y 5 voltios en corriente continua, por ello necesitan de una fuente de alimentación. Algunos autómatas integran internamente dicha fuente pero otros emplean un módulo externo.

Si la fuente de alimentación es interna, el autómata se conecta directamente a la red eléctrica entre fase y neutro. Por el contrario, si el autómata necesita de una fuente externa, su alimentación es a 24 V_{CC}.

La fuente de alimentación, además de suministrar energía al propio autómata se emplea para alimentar a los sensores o dispositivos que lo necesiten. Algunos autómatas con fuente interna cuentan con unos terminales para esta función.

Figura 10.7. *Fuente de alimentación para Logo. (Cortesía de Siemens).*

Figura 10.8. *Fuente de alimentación para S7-300. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 10.9. *Fuente de alimentación genérica. (Cortesía de Siemens.)*

10.3.3. Los módulos de entradas y salidas

Los módulos de entradas y salidas se clasifican en función del tipo de datos que emplean, así se tienen:

- **Módulos digitales o binarios.** Utilizan datos a nivel de bit, es decir todo o nada. Detectan tensión en una entrada o no la detectan, activan un bit de salida o no lo activan.
- **Módulos analógicos.** Poseen cualquier valor dentro de un rango. Utilizan datos a nivel de *byte* (8 bits) o *word* (16 bits). Los módulos de entradas analógicas se emplean para leer magnitudes que no se pueden expresar en valores todo o nada como por ejemplo: temperatura, presión, distancia, etc.

Estos módulos o son de entradas o son de salidas, aunque también los hay mixtos, donde combinan tanto las entradas como las salidas, sin embargo no mezclan el tipo de datos (analógico o discreto).

Figura 10.10. *Entradas analógicas.*

Figura 10.11. *Entradas digitales.*

Figura 10.12. *Entradas y salidas analógicas.*

Figura 10.13. *Salidas digitales.*

A las entradas del autómata se conectan los **captadores**. Estos captadores pueden ser de dos tipos: que no necesiten conexión eléctrica (por ejemplo, un pulsador o un final de carrera), o que necesiten conexión eléctrica (por ejemplo, un sensor inductivo o una barrera fotoeléctrica). Es conveniente que estos dispositivos sean de la misma tensión que el autómata.

La conexión de un captador sin tensión, como un pulsador, se realiza conectando un extremo a la entrada y el otro extremo al positivo de la fuente de tensión. Además, es necesario conectar el negativo de la entrada con el negativo de la fuente de alimentación. Con el fin de reducir el espacio, estos negativos se agrupan en un terminal común. A veces, se suele dividir las entradas en grupos, en los cuales cada grupo tiene su propio común.

En la Figura 10.14, se tiene un autómata con dos grupos de entradas, los comunes son 1M y 2M respectivamente.

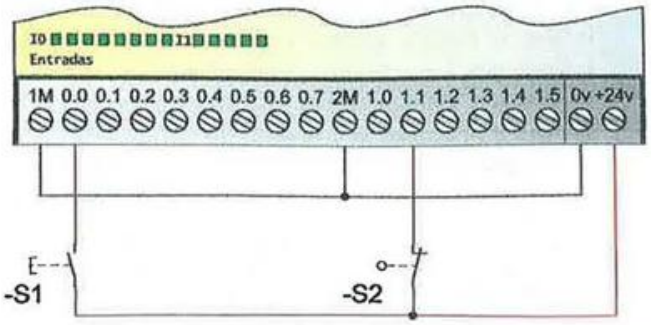


Figura 10.14. *Entradas pasivas.*

SABÍAS QUE

A los captadores que no necesitan ser conectados a una fuente de alimentación eléctrica se les denomina captadores pasivos.

Para los captadores que necesitan conexión eléctrica, esta se puede obtener de una fuente de alimentación externa o bien del propio autómata, el cual suele contar con unos terminales destinados a este fin.

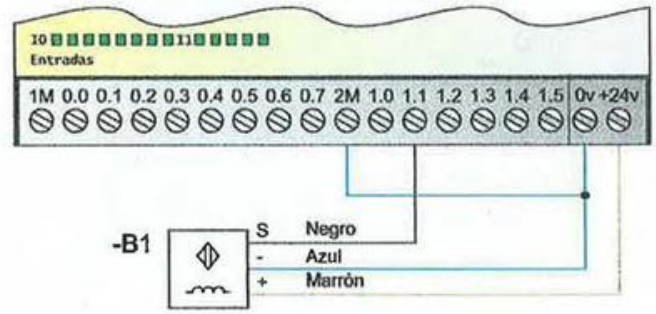


Figura 10.15. *Entradas activas.*

SABÍAS QUE

A los captadores que necesitan ser conectados a una fuente de alimentación eléctrica se les denomina captadores activos.

A las salidas del autómata se conectan los **actuadores**. Existen varios tipos de salidas digitales:

- **Salidas a relé.** Tiene dos terminales y actúan como un contacto. En sus bornes no existe tensión eléctrica, por ello se llaman **libres de potencial**. Pueden trabajar con cualquier tipo de tensión, alterna o continua y de cualquier valor.

Las conexiones de salida pueden tener dos bornes o bien se pueden agrupar por bloques (al igual que ocurría con las entradas). Cada bloque contará con un contacto común. El tener varios bloques facilita la conexión de actuadores de diferente tensión eléctrica.

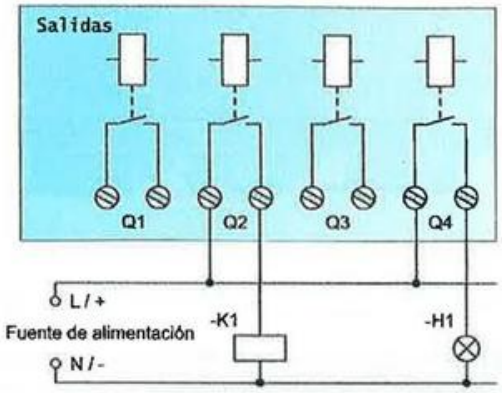


Figura 10.16. *Salidas a relé con dos bornes.*

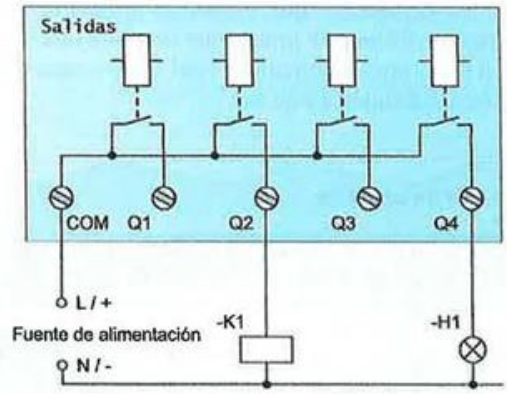


Figura 10.17. *Salidas a relé con borne común.*

- **Salidas a transistor.** La salida es con tensión, por ello los actuadores deben ser del mismo valor de tensión eléctrica. Son adecuados para actuadores de corriente continua. Pueden ser de dos tipos: PNP o NPN.

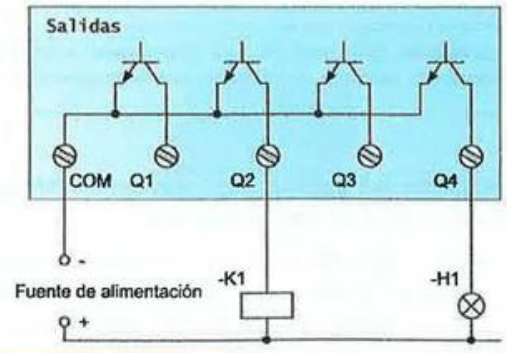


Figura 10.18. *Salidas a transistor.*

SABÍAS QUE

Aunque el módulo de salida a relé no tiene polaridad, se suele emplear de tal forma que la salida del autómata proporcione positivo o fase al actuador.

- **Salida a TRIAC.** Se emplean donde se requieran altas capacidades de conmutación.

Las salidas a relé pueden trabajar para cualquier tipo de voltaje y permiten trabajar con mayores corrientes que con las salidas a transistor. Sin embargo, la velocidad de conmutación del transistor es superior a las de relé. Por otro lado, la vida útil de los relés es inferior a la de los transistores. A la hora de seleccionar un tipo de módulo de salida dependerá de la aplicación a controlar.

A la hora de trabajar con los módulos de salidas digitales o binarias, se deben tener en cuenta una serie de consideraciones:

- Los actuadores conectados en un mismo grupo de salida deben ser de la misma tensión.
- Para cada grupo de contactos de salida, se debe calcular las intensidades demandadas por cada actuador y la suma de ambas no debe sobrepasar la intensidad indicada por el fabricante.

En la mayoría de los casos, como actuadores, se conectarán contactores. Los contactores son elementos inductivos y este tipo de carga genera picos de tensión en el proceso de desconexión. Los fabricantes de autómatas incorporan en los módulos un circuito de protección, pero a veces estos no son suficientes y se debe de complementar.

Cuando la carga es de corriente continua, hay tres circuitos de protección (Figura 10.19):

- **Protección mediante diodo.** Se emplea en cargas inductivas con bajo número de maniobras.
- **Protección mediante diodo y resistencia.** Es más completo que el anterior y se emplea para el mismo caso, cargas inductivas y con bajo número de maniobras.
- **Protección mediante diodo y VDR (varistor).** Se emplean en cargas inductivas con alto número de maniobras.

En el caso de cargas en corriente alterna, se tienen dos situaciones:

- Carga de alta inductancia.
- Carga de alta impedancia.

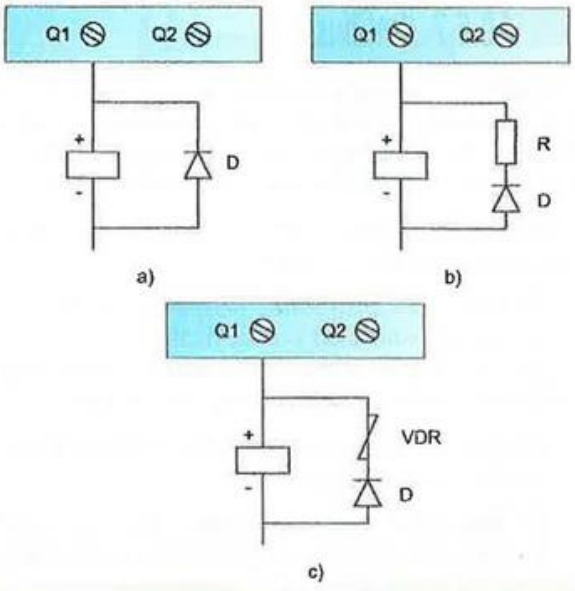


Figura 10.19. *Protección del autómata en corriente continua.*

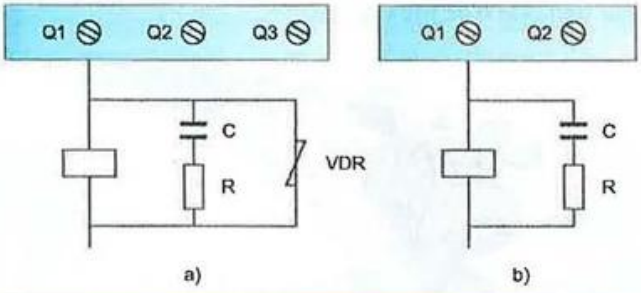


Figura 10.20. *Protección del autómata en corriente alterna.*

10.4. Los paneles de operación

Los paneles de operación son unos periféricos destinados a interactuar con el operario. A este tipo de dispositivos se les denomina HMI (*Human Machine Interface*).

Estos paneles o consolas se componen de dos partes: una parte es la encargada de visualizar información (tales como la situación de una máquina o proceso, alarmas, etc.) y otra parte es la encargada de recoger información que proporciona el operario (dar alguna orden concreta) mediante un conjunto de teclas.

Existen dos tipos de pantallas: las **pantallas alfanuméricas**, que proporcionan información en formato texto; y las **pantallas gráficas**, que proporcionan información en formato gráfico.

Estas pantallas se combinan con una serie de teclas, aunque actualmente, los paneles más modernos integran ambas funciones mediante las pantallas táctiles.

Figura 10.21. *Consola Magelis. (Cortesía de Schneider.)*

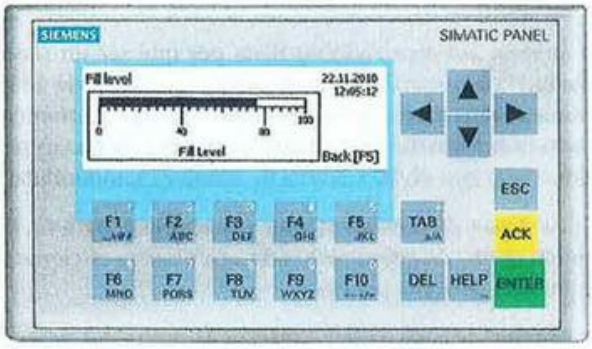


Figura 10.22. *Consola. (Cortesía de Siemens.)*

Estos paneles requieren de una programación que se realiza mediante un *software* específico.

10.5. Las tarjetas de memoria

Una vez realizado un programa para el autómata, se puede copiar en una tarjeta de memoria o *memory card* y luego insertarla en el autómata para su transferencia. También se utiliza para el paso inverso, copiar el programa del logo a la tarjeta de memoria.

Estas tarjetas de memoria se encuentran en dos formatos:

- Formato tarjeta.
- Formato cartucho.

Figura 10.23. *Memoria tipo tarjeta.*

Figura 10.24. *Memoria CF.*

Figura 10.25. *Memoria tipo cartucho.*

10.6. Las comunicaciones industriales

Un sistema automatizado no tiene por qué ser un sistema aislado. Ni un sistema automatizado se compone de un solo autómata. Hoy en día los autómatas requieren comunicarse con otros autómatas y dispositivos, es por ello que es necesario contar con algún sistema de comunicación industrial.

Los buses de comunicaciones se emplean para facilitar el intercambio de información de una manera eficiente con el mínimo cableado posible.

Aunque existen varias soluciones, entre las más empleadas actualmente están las siguientes:

- Modbus.
- Profibus.
- AS-i.
- Ethernet.

10.6.1. Modbus

Es un bus veterano que se emplea para enviar y recibir datos de control entre los sensores y los controladores a través del puerto RS-232 y con una comunicación punto a punto. No ha sido estandarizado. Tiene una filosofía de maestro-esclavo y existen dos modos: uno en modo ASCII en el cual se transmiten dos caracteres (2 bytes) por cada mensaje y el modo RTU en el que se transmiten cuatro caracteres por mensaje. Existe una versión que emplea comunicación mediante RS-485 con la que se aumentan sus prestaciones.

El medio físico está compuesto por un cableado de par de hilos trenzados con alimentación independiente para cada dispositivo.

Es un protocolo de comunicación con muchas limitaciones y hoy en día solo se emplea en instalaciones ya existentes. Existen intentos de relanzarlo empleando Modbus sobre TCP/IP.

10.6.2. Profibus

El sistema de comunicación Profibus (*Process Field Bus*) fue creado en un principio por empresas alemanas a las que posteriormente se añadieron otras europeas. Actualmente es líder en Europa. Es estándar mediante la norma EN-50170.

Es un bus de tipo maestro-esclavo de altas prestaciones el cual cuenta con tres versiones:

- **Profibus-DP** (*Distributed Peripherals*). Optimizado para la alta velocidad y coste reducido. Está indicado para la comunicación entre sistemas automáticos de control y entradas/salidas a nivel de campo.
- **Profibus-PA** (*Process Automation*). Diseñado para la automatización de procesos.
- **Profibus-FMS** (*Fieldbus Message Specification*). Es de propósito general, con preferencia de la funcionalidad a la velocidad.

Profibus emplea una topología de bus con terminación de impedancia en los extremos. El cableado puede ser de par trenzado o de fibra óptica.

Figura 10.26. *Cables Profibus.*

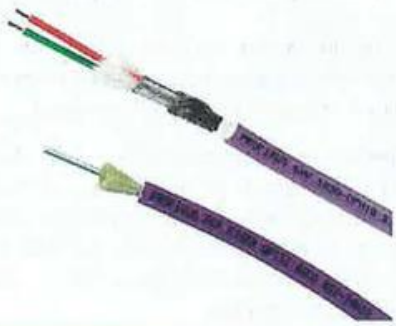


Figura 10.27. *Cables Profibus par trenzado y óptico.*

Figura 10.28. *Terminador.*

Figura 10.29. *Módulo Profibus para S7-200. (Cortesía de Siemens.)*

10.6.3. AS-i

El bus AS-i (*Actuador Sensor interface*) nació con la idea de eliminar el cableado entre los actuadores y sensores a la vez que proporciona alimentación eléctrica a los dispositivos, todo ello por un mismo sistema de cableado de dos hilos.

Figura 10.30. *Cable AS-i.*

Así, en vez de llevar a cada dispositivo los cables de control (entradas o salidas) más sus cables de alimentación, solo se lleva un único cable de dos hilos al cual se conectan todos los dispositivos: sensores, contactores, pilotos de señalización, etc.

Figura 10.31. *Módulo AS-i para S7-1200. (Cortesía de Siemens).*

Figura 10.32. *Final de carrera con AS-i.*

Figura 10.33. *Arrancador con AS-i. (Cortesía de Siemens.)*

El bus AS-i se emplea en el escalafón más bajo de la pirámide de la automatización, enlazando captadores y actuadores. Es un sistema de comunicación abierto y reconocido por el estándar EN-50295 y IEC 62026-2.

Sus características principales son:

- Es un sistema maestro-esclavo, en el cual se realiza un sondeo con un tiempo máximo de 5 ms (es decir, en ese tiempo se deben reconocer todos los elementos del bus).
- Un maestro controla hasta 32 esclavos (62 en la versión 2.1).
- Es posible la comunicación con módulos analógicos.
- La longitud máxima del bus es de 100 m sin repetidores.

Un sistema de bus AS-i lo forman los siguientes elementos:

- **Un maestro del bus AS-i.** Suele estar conectado a un autómata programable.
- **Una fuente de alimentación.** Proporciona una tensión de 30 V_{CC} y hasta 8 A para alimentar a los elementos esclavos del bus (Figura 10.34). Es posible conectar otras fuentes cuando se necesitan tensiones diferentes a través de cables adicionales: 24 V_{CC} (cable negro) y 230 V_{CA} (cable rojo).
- **Los esclavos del bus AS-i.** Existen dos tipos principales: las que cuentan con la electrónica integrada dentro del dispositivo y los módulos AS-i genéricos (Figura 10.35), los cuales disponen de varias entradas/salidas y es posible conectar cualquier sensor/actuador. La primera opción se emplea en instalaciones nuevas y la segunda opción se emplea en instalaciones existentes y de esta manera se aprovecha la infraestructura reduciendo los costes. Para indicar cuáles son los esclavos dentro del bus, se emplea la programadora de direcciones (Figura 10.36).

- **El cable del bus AS-i.** Es un cable plano de color amarillo de dos hilos el cual cuenta con una muesca para su colocación en una única posición.

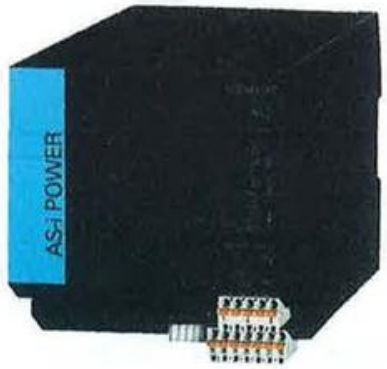


Figura 10.34. *Fuente de alimentación AS-i.*

Figura 10.35. *Módulo esclavo AS-i.*

Figura 10.36. *Programadora de direcciones.*

10.6.4. Ethernet industrial

El sistema de Ethernet industrial se emplea especialmente en aquellos casos con las siguientes características:

- Intercambio de grandes cantidades de datos.
- Gran distancia entre dispositivos.

Para la comunicación se empleaba originalmente cable coaxial, sin embargo el sistema ha evolucionado hacia otros soportes físicos tales como el par de hilos trenzado o la fibra óptica, consiguiendo mayores velocidades de transmisión y mediante otras mejoras se ha aumentado el ancho de banda. Los conectores de los cables son de tipo RJ-45. Actualmente, también es posible la comunicación inalámbrica.

Las velocidades se fijan en 10, 100 y 1.000 Mbit/s. Y las ventajas que ofrece son:

- Altas prestaciones aun existiendo muchos participantes y a grandes distancias.
- Transferencia de datos segura. Para entornos industriales con muchas perturbaciones electromagnéticas.
- Ahorro en costes con la simplificación del cableado.
- Es la red industrial que más se está implantando.

Las topologías de montajes pueden ser: lineal, en árbol, en estrella, en anillo. La topología en anillo es la más confiable debido a la redundancia en la conexión.

Aunque hay varios protocolos de comunicación sobre Ethernet, el empleado con preferencia es el TCP/IP.

Figura 10.37. *Logo con Ethernet. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 10.38. *Módulo de comunicación para S7-200. (Cortesía de Siemens.)*

El elemento principal en una red Ethernet es el *switch* (conmutador), a él se conectan los participantes de la red.

Figura 10.39. Switch. *(Cortesía de Siemens.)*

Figura 10.40. *Módulo para ET200. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 10.41. *Módulo de Ethernet para Twido. (Cortesía de Schneider).*

10.7. Los sistemas SCADA

Un sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Adquisition*) es un sistema de *software* que, desde la pantalla de un ordenador, se comunica con los dispositivos de campo supervisando todo el proceso industrial.

Esta información que proporciona es útil para el trabajo diario de cada usuario o departamento: control de producción, mantenimiento, operadores, control de calidad, etc.

Las tareas de automatización las realizan los autómatas del sistema y estos proporcionan la información al ordenador, pero también desde el propio ordenador se puede dar órdenes a los autómatas.

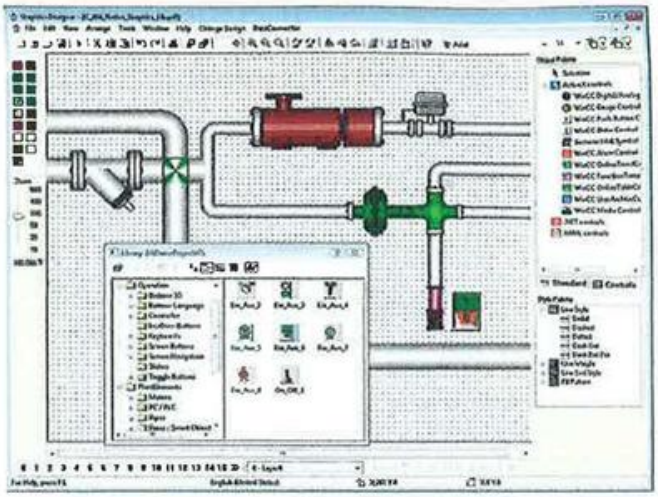


Figura 10.42. *Diseño de la pantalla de un sistema SCADA.*

Las funciones principales que realiza son:

- De **adquisición de datos**. Recoge, procesa y almacena la información recibida.
- De **supervisión**. Observación en la pantalla de la evolución de las variables que intervienen en el proceso.
- De **control**. Modificación de la evolución del proceso mediante órdenes a los dispositivos que intervienen en él.

Las ventajas principales del empleo de un sistema SCADA son:

- **Gestión de alarmas.** Información sobre las alarmas producidas con registro de las incidencias.
- **Generación de históricos.** Se recoge información sobre la evolución del proceso controlado a lo largo del tiempo, lo que permite entre otras cosas, detectar desviaciones.
- **Descarga de trabajo a los autómatas.** Ciertas tareas requieren una alta capacidad de cálculo. Se puede tomar esos datos en el propio ordenador, realizar el cálculo y con los resultados obtenidos pasárselos al autómata.

10.8. Los circuitos eléctricos en los autómatas

Los circuitos eléctricos en los cuales se emplean autómatas reducen su cableado. Así, por ejemplo, en la Figura 10.43 se muestra un arranque de un motor mediante lógica cableada y lógica programada. En el primer caso, se le indica la forma de conectar los diferentes elementos y cómo debe

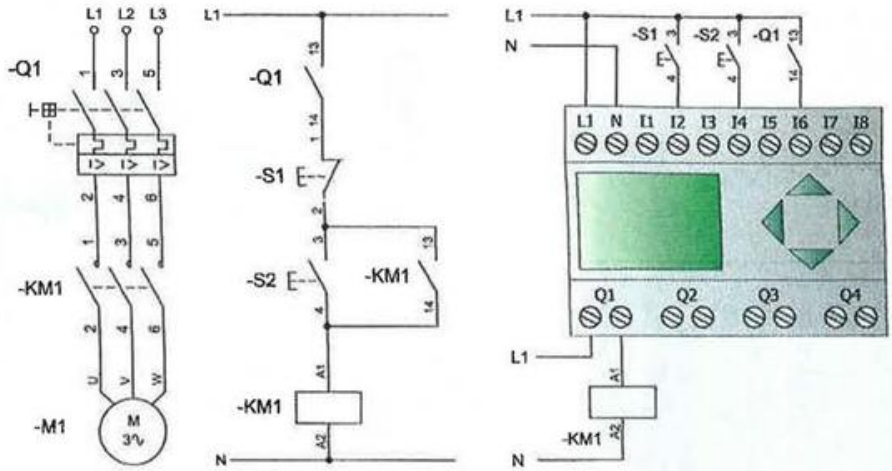


Figura 10.43. *Comparación de circuito en lógica cableada y lógica programada.*

responder ante la intervención de los pulsadores. En cambio, en la lógica programada, al autómata se le conectan los captadores a la entrada y los actuadores se conectan a la salida. La forma de cómo debe responder ante la intervención en las entradas se realiza mediante el programa.

Aunque cada marca comercial tiene sus modelos de autómatas, es fácil identificar cada parte y en caso de duda se debe consultar su manual. En las figuras siguientes se muestran tres modelos muy conocidos de una gama baja (Logo y S7-200 de Siemens y Zelio de Schneider), identificando cada parte.

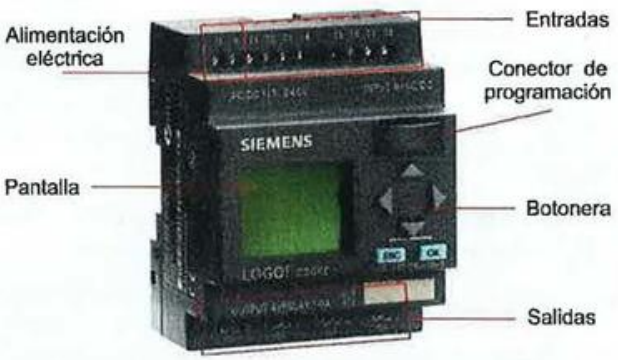


Figura 10.44. *Logo. (Cortesía de Siemens.)*

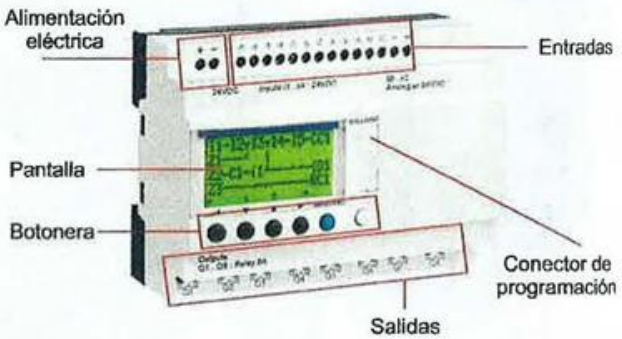


Figura 10.45. *Zelio. (Cortesía de Schneider.)*

Figura 10.46. *S7-200. (Cortesía de Siemens.)*

10.8.1. Los contactos de seguridad

En un autómata, el tipo de contacto (normalmente abierto o normalmente cerrado) de un pulsador o bien de un captador no importa, puesto que por medio del programa se trata según su condición. Sin embargo, en el caso de elementos de seguridad (por ejemplo, relés térmicos, paros de emergencia, etc.) conviene que sean del tipo normalmente cerrados (NC) por una cuestión de seguridad. El autómata estaría constantemente detectando la señal mandada por el sensor o elemento de seguridad, si ocurre un fallo se dejaría de recibir esa señal y el autómata lo detectaría inmediatamente.

Los relés térmicos, así como otros elementos de seguridad, se pueden tratar de dos maneras:

- Conectado como entrada (Figura 10.47). El contacto del relé se lleva a una entrada del autómata.
- Conectado como salida (Figura 10.48). El contacto normalmente cerrado del relé se conecta en serie con el contactor del motor a proteger.

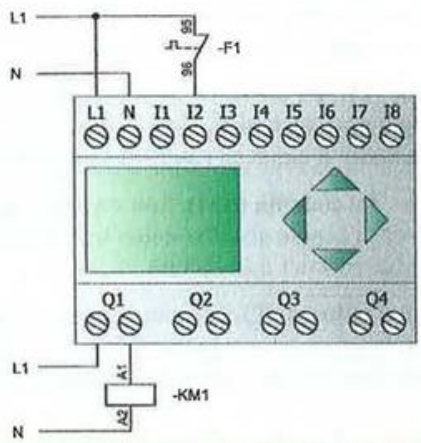


Figura 10.47. *Contacto del relé térmico conectado como entrada.*

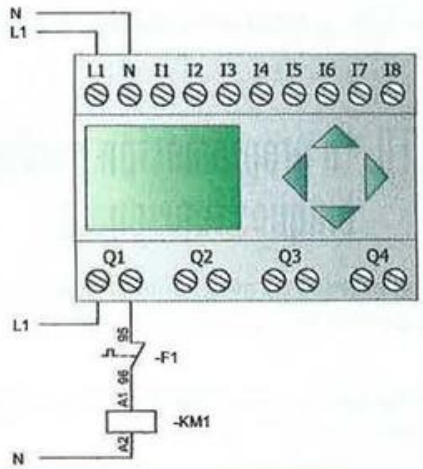


Figura 10.48. *Contacto del relé térmico conectado como salida.*

La conexión del contacto del relé térmico como entrada es la más apropiada desde el punto de vista del control, ya que un disparo del relé térmico sería detectado por el autómata y se podría generar una señal de alarma. Si se conecta como salida, el relé térmico seguiría protegiendo el circuito pero el autómata no detectaría su disparo y por tanto no podría generar ninguna señal de alarma o paro del proceso por motivos de seguridad.

Existen máquinas en las cuales se emplean varios motores y por tanto varios relés térmicos u otros sistemas de seguridad. Lo ideal es conectar cada térmico a una entrada, pero en muchas ocasiones no se dispone de entradas libres. Se puede aumentar el número de entradas pero el coste de la instalación aumentaría. Una solución muy empleada es enlazar en serie los relés térmicos y conectarla a una entrada. El autómata estaría en condiciones de detectar el fallo por sobrecarga pero no indicaría cuál térmico se disparó.

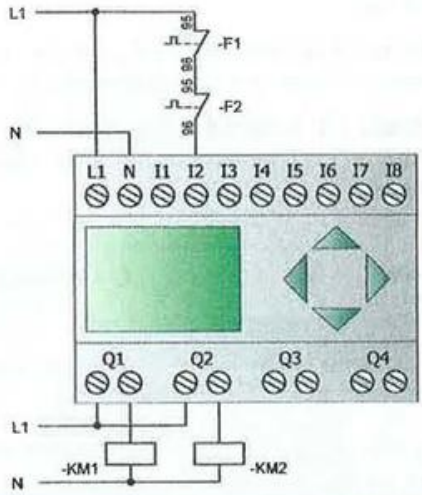


Figura 10.49. *Contactos de varios relés térmicos conectados en serie.*

10.9. La programación de autómatas

La manera de cómo el autómata procesa los datos de los captadores conectados a las entradas para activar o desactivar las salidas del autómata se realiza mediante una serie de órdenes. Estas órdenes se indican mediante algún lenguaje de programación.

10.9.1. Los lenguajes de programación

Los lenguajes de programación se han ido estandarizando desde que se publicó la norma IEC 1131-3. Con esta norma, se ha conseguido simplificar y facilitar el aprendizaje de los lenguajes de programación, ya que al unificar los criterios se facilita el poder programar de la misma manera cualquier autómata acogido a esta norma.

Existen cuatro lenguajes de programación normalizados. Dos de ellos son de tipo gráfico y los otros dos son de tipo texto.

- Tipo gráfico:
  - — **Diagrama de bloques funcionales** (FBD, *Function Block Diagram*). Se basa en el empleo de las funciones lógicas.
  - — **Diagrama de contactos** (LD, *Ladder Diagram*). Se basa en el empleo de la lógica de relés.

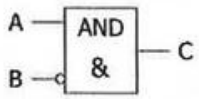


Figura 10.50. *Ejemplo de diagrama de bloques funcionales.*

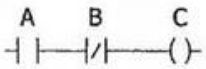


Figura 10.51. *Ejemplo de diagrama de contactos.*

- Tipo texto:
  - — **Lista de instrucciones** (IL, *Instruction List*). Se basa en los principios del lenguaje ensamblador.
  - — **Texto estructurado** (ST, *Structured Text*). Se basa en los lenguajes de alto nivel (lenguaje C y otros).

```
LD    A
ANDN  B
ST    C
```

Figura 10.52. *Ejemplo de lista de instrucciones.*

```
C = A AND NOT B
```

Figura 10.53. *Ejemplo de texto estructurado.*

La elección de un lenguaje u otro va a depender, principalmente, de las preferencias y conocimientos del programador, de la dificultad del problema a resolver y del autómata a emplear.

10.9.2. Las áreas o mapa de memoria

El autómata, a la hora de trabajar, necesita almacenar temporalmente los datos. Por ejemplo, a la hora de utilizar un contador, debe guardar en una parte de la memoria la cuenta que lleva, además del valor de la cuenta a la cual se activará. Estos datos se guardan en el área de memoria reservada a los contadores.

Las áreas de memoria se identifican mediante una letra que hace referencia a la función que realizan.

Para referirse a un elemento concreto del área de memoria, se indica el identificador de área más un número que hace referencia a la posición de ese elemento dentro de esa área. Por ejemplo, el elemento T3 indica que es un temporizador (T) y el número 3 hace referencia a que es el tercer temporizador.

Tabla 10.1. **Mapa de memoria.**

Área de memoria	Letra
Entradas	I
Salidas	Q
Marcas	M
Marcas de sistema	SM
Temporizadores	T
Contadores	C

Cada área de memoria indica:

- **Entradas (I).** El autómata lee las entradas y vuelca sus estados en el área de memoria reservada para las entradas. En estas posiciones de memoria se coloca el valor leído por los captadores conectados a las entradas físicas del autómata.
- **Salidas (Q).** El autómata vuelca el valor de esa área de memoria sobre las salidas, activando o desactivando los actuadores conectados en ella.
- **Marcas (M).** Es un espacio de almacenamiento temporal para las variables. Está a libre disposición del programador aunque su cantidad está limitada.
- **Marcas del sistema (SM).** Son espacios de memoria donde es el propio sistema quien lo emplea, pero que es posible acceder a su lectura.
- **Temporizadores (T).** En esta área se almacenan los datos referentes a los temporizadores: tiempo de umbral, tiempo parcial, cuenta ascendente o descendente, etc.
- **Contadores (C).** En esta área se almacenan los datos referentes a los contadores.

Cada modelo de autómata está dotado con una cantidad limitada de esa área de memoria.

10.10. La programación mediante bloques funcionales

Es una programación de modo gráfico, donde cada bloque representa una función. Existen dos grupos de bloques funcionales:

- **Bloques de funciones básicas.** Siendo las más importantes:
  - — Entrada. Se emplea para indicar la lectura de una entrada (captador).

— Salida. Se emplea para indicar una salida (actuador).

— Función OR. Realiza la suma lógica de las señales.

— Función NOR. Realiza la suma lógica de las señales y luego la invierte.

— Función AND. Realiza el producto lógico de las señales.

— Función NAND. Realiza el producto lógico de las señales y luego lo invierte.

— Función NOT. Invierte el valor de la señal.

- **Bloques de funciones especiales.** Siendo las más importantes:

— Temporizadores. A la conexión, desconexión, semanales, anuales, etc.

— Contadores.

— Otros.

10.10.1. Las entradas

Se identifica con la letra I seguida del número de entrada al autómata. En ella se almacena el valor de dicha entrada.

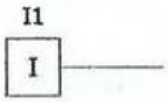


Figura 10.54. *Entradas.*

Figura 10.55. *Contacto abierto.*

Su equivalente eléctrico sería un contacto abierto o cerrado.

10.10.2. Las salidas

Se identifica con la letra Q seguida del número de salida del autómata.

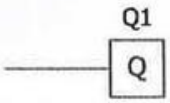


Figura 10.56. *Salidas.*

10.10.3. La función OR

La función OR realiza la suma lógica de dos o más señales y el resultado lo coloca en la salida del bloque.

Tabla 10.2. Función OR.

Entradas		Salida
I1	I2	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

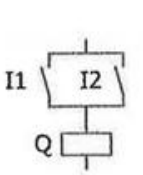


Figura 10.57. *Función OR (circuito).*

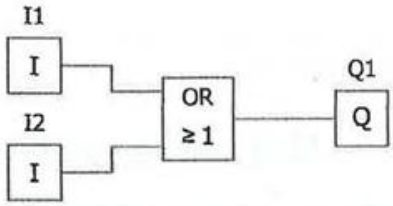


Figura 10.58. *Función OR (bloques).*

La ecuación lógica es: $Q = I1 + I2$

La función OR representa la conexión de dos o más contactos en paralelo. La salida vale 1 cuando alguna de sus entradas tenga un estado lógico de 1.

RECUERDA

La función OR, al representar un circuito paralelo, con estar cerrado (1) alguno de sus contactos ya es suficiente para que se cierre el circuito, obteniendo un estado lógico de 1.

10.10.4. La función NOR

La función NOR es la función OR a la cual se invierte su resultado.

Tabla 10.3. Función NOR.

Entradas		Salida
I1	I2	Q
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

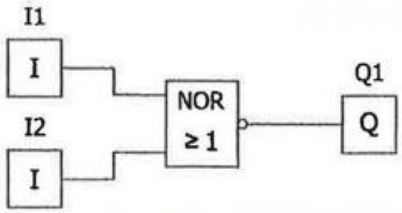


Figura 10.59. *Función NOR (bloques).*

La ecuación lógica es:

$$Q = \overline{I1 + I2}$$

La salida vale 1 cuando todas sus entradas tengan un estado lógico de 0.

10.10.5. La función AND

La función AND realiza el producto lógico de dos o más señales y el resultado lo coloca en la salida del bloque.

Tabla 10.4. Función AND.

Entradas		Salida
I1	I2	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

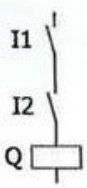


Figura 10.60. *Función AND (circuito).*

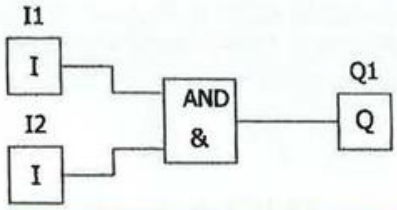


Figura 10.61. *Función AND (bloques).*

La ecuación lógica es: $Q = I1 \times I2$

La función AND representa la conexión de dos o más contactos en serie. La salida vale 1 cuando todas sus entradas tengan un estado lógico de 1.

RECUERDA

La función AND, al representar un circuito serie, todos sus contactos deben estar cerrados (1) para que circule la corriente y se tenga un 1 a su salida. Si se abre cualquier contacto ya se impide el paso de la corriente.

10.10.6. La función NAND

La función NAND es la función AND a la cual se invierte su resultado.

Tabla 10.5. Función NAND.

Entradas		Salida
I1	I2	Q
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

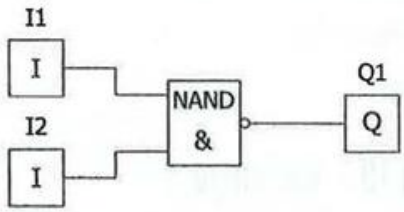


Figura 10.62. *Función NAND (bloques).*

La ecuación lógica es: $Q = \overline{I1 \times I2}$

La salida vale 0 cuando todas sus entradas tengan un estado lógico de 1.

10.10.7. La función NOT

La función NOT se encarga de realizar la inversión del valor de su entrada.

Tabla 10.6. Función NOT.

Entradas	Salida
I1	Q
0	1
1	0

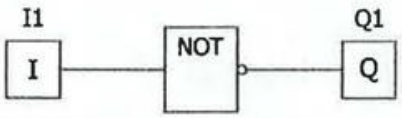


Figura 10.63. *Función NOT (bloques).*

La ecuación lógica es:

$$Q = \overline{I1}$$

La salida vale 1 cuando su entrada tenga un estado lógico de 0.

Se puede aplicar la función NOT tanto a resultados de bloques como a las entradas. En este caso un contacto abierto negado es lo mismo que un contacto cerrado.

10.10.8. La resolución de problemas

La resolución de problemas mediante diagrama de bloques de funciones se realiza obteniendo la función lógica y posteriormente aplicando el diagrama de bloques.

Actividad resuelta 10.1

Realiza el programa mediante diagrama de bloques funcionales del circuito dado:

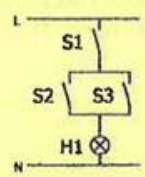


Figura 10.64. *Circuito.*

Solución:

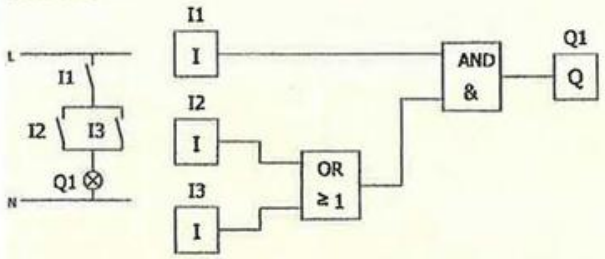


Figura 10.65. *Solución.*

Se asignan los contactos a las entradas y salidas.

El circuito se resuelve obteniendo la ecuación lógica. Se observa que está compuesto por dos contactos en paralelo (I2 y I3) que se representa por la suma; y su resultado está en serie con el contacto I1 que se representa por el producto, por tanto se obtiene:

$$Q1 = I1 \times (I2 + I3)$$

En la ecuación se tienen dos funciones: una OR (paralelo) y una AND (serie). Por ello, se resuelve en paralelo (función OR) y su salida se multiplica (función AND) por la entrada I1, obteniendo el resultado final.

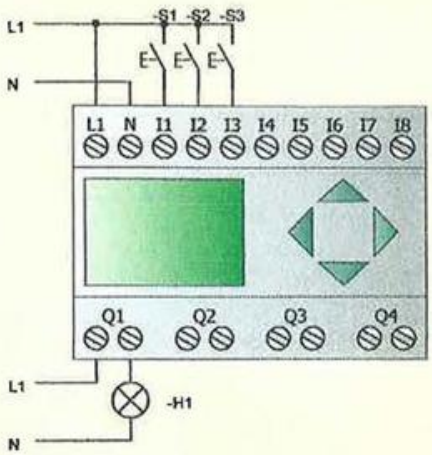


Figura 10.66. *Montaje.*

Actividad resuelta 10.2

Realiza el programa mediante diagrama de bloques funcionales del circuito dado:

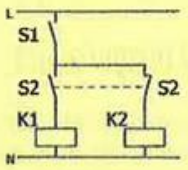


Figura 10.67. *Circuito.*

Solución:

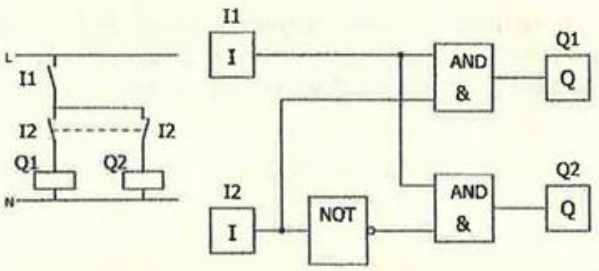


Figura 10.68. *Solución.*

Se asignan los contactos a las entradas y salidas. Como solo hay dos contactos (S1 y S2) se asignan las dos primeras entradas del autómata. El contacto cerrado de S2 se obtiene negando S2.

Se obtienen las ecuaciones lógicas para cada actuador, en este caso dos ecuaciones (para K1 y K2).

$$Q1 = I1 \times I2$$

$$Q2 = I1 \times \overline{I2}$$

Se obtiene una función AND por cada salida. Como se necesita negar I2, se necesita además, una función NOT.

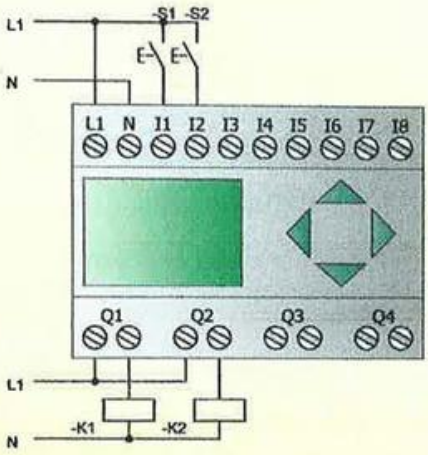


Figura 10.69. *Montaje.*

10.10.9. El temporizador

Para la gestión del tiempo se emplean los temporizadores. Los temporizadores pertenecen al grupo de las funciones especiales. Estos bloques de función se representan con la letra T seguida del número de orden de temporizador de entre todos los que dispone el autómata. Esta cantidad está limitada.

Existen varios modos de funcionamiento de los temporizadores, siendo los más empleados el temporizador a la conexión y el temporizador a la desconexión.

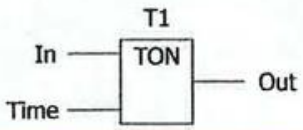


Figura 10.70. *Temporizador a la conexión.*

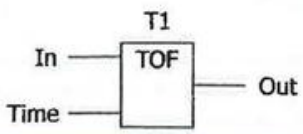


Figura 10.71. *Temporizador a la desconexión.*

En un temporizador a la conexión (TON), el proceso de la cuenta del tiempo empieza nada más se detecta la señal en la entrada.

En un temporizador a la desconexión (TOF), el proceso de la cuenta del tiempo empieza cuando el temporizador deja de detectar la señal a la entrada.

En ambos casos se debe fijar el tiempo de operación.

También se dispone de los programadores semanales y anuales, los cuales activan una salida del autómata en función del día y de la hora programada.

10.10.10. El contador

El contador es un bloque de función el cual cada vez que recibe un impulso en su entrada, lo registra llevando una cuenta. Cuando esta cuenta llega a un valor prefijado en la programación, activa su salida.

Existen los contadores con cuenta en modo ascendente (CTU), en modo descendente (CTD) y en ambos (ascendente y descendente) (CTUD).

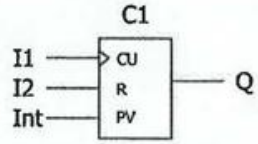


Figura 10.72. *Contador ascendente.*

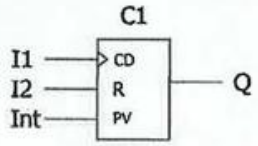


Figura 10.73. *Contador descendente.*

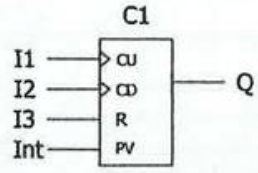


Figura 10.74. *Contador ascendente/descendente.*

Una de las entradas se encarga de recibir los pulsos a contar. Desde otra de las entradas se pone el contador a cero. El punto de umbral se debe fijar, para que al llegar la cuenta a ese valor se active la salida.

10.10.11. Otras funciones

Los autómatas, en función del modelo empleado, incorporan otras funciones especiales. Las más usuales son los comparadores y los biestables o básculas:

- **Comparadores.** Comparan el valor de dos entradas y en función de este, activan o no la salida. Se emplean con señales analógicas, por ejemplo para controlar una salida en función de un valor de temperatura leída en una entrada.
- **Básculas o biestables.** Memorizan un valor de una entrada hasta que se le da la orden de borrado. También se les llama básculas SR (Set-Reset).

10.11. La programación mediante diagrama de contactos

La programación mediante diagramas de contactos es un lenguaje parecido a un esquema eléctrico de lógica cableada.

Está compuesta por contactos que actúan sobre una salida o bobina. Existen dos tipos de entradas (normalmente abierta y normalmente cerrada, que representan a los pulsadores, finales de carrera, sensores, etc.) y varios tipos de salida.

En los esquemas eléctricos, estos se leen de arriba a abajo en cambio en los diagramas de contactos, estos se leen de izquierda a derecha

La simbología respecto a la empleada en los circuitos eléctricos cambia, teniendo la siguiente representación:

Tabla 10.7. Símbolos básicos en lenguaje de contactos.

Contacto normalmente abierto	⊣ ⊢	Contacto normalmente cerrado	⊣/⊢
Salida (bobina)	( )	Salida invertida (bobina)	(/)

Existen diversas variaciones sobre las salidas:

Tabla 10.8. Variaciones sobre las salidas en lenguaje de contactos.

(S)	Al cerrarse el circuito, la bobina se activa y permanece activa aunque el circuito se abra. Recibe el nombre de bobina de activación (Set).
(R)	Al cerrase el circuito, la bobina se desactiva, permaneciendo en este estado aunque se varíe su entrada. Recibe el nombre de bobina de desactivación (Reset).
(M)	En función de su entrada, se activa o desactiva una marca.
(SM)	Al cerrarse el circuito, la marca se activa y permanece activa aunque el circuito se abra. Es similar a la bobina de activación pero memoriza su estado.
(RM)	Al cerrase el circuito, la marca se desactiva, permaneciendo en este estado aunque se varíe su entrada. Es similar a la bobina de desactivación (Reset).

Las marcas actúan como relés auxiliares internos. Al activar una marca, se está poniendo a 1 un bit interno, y cuando se desactiva se pone a 0 ese mismo bit.

Respecto a las entradas, pueden responder ante variaciones de dos maneras: por niveles o por flancos.

Tabla 10.9. Variaciones sobre las entradas en lenguaje de contactos.

⊣ ⊢	Activación por niveles
⊣ P ⊢	Activación por flanco ascendente
⊣ N ⊢	Activación por flanco descendente

Las funciones especiales, tales como por ejemplo temporizadores, contadores, etc., se emplean en dos líneas de instrucciones. En una de ellas, el temporizador se representa en la línea de las bobinas, en esta se dan las órdenes (activación para el temporizador, pulsos para el contador, etc.). En la segunda línea es donde se emplean estos elementos como contactos.

Veamos el ejemplo de la Figura 10.75:

- En la línea 1, cuando se active la entrada I1 se activará la salida Q1. Si se desactiva la entrada, se desactiva la salida.
- En la línea 2, cuando se active la entrada I2 y no esté activa la I3 se activará la salida Q2 y permanecerá en este estado aunque se varíen sus entradas (I2 o I3).
- En la línea 3, al activar la entrada I3 se desactiva la salida Q2, que se había activado en la línea anterior.
- En las líneas 4 y 5 se emplea un temporizador (T1) el cual se configura una vez colocado (modo de trabajo, tiempo, etc.). Cuando se active la salida Q1 se activará el temporizador (T1) y este actuará sobre la salida Q3.

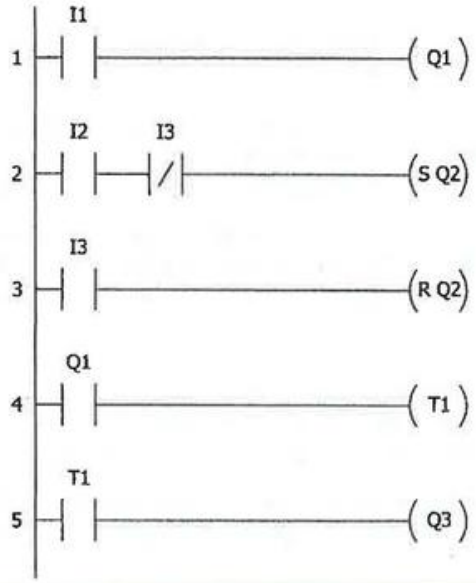


Figura 10.75. *Ejemplo de programación mediante lenguaje de contactos.*

10.12. La programación mediante lista de instrucciones

La programación mediante lista de instrucciones (IL, AWL) consiste en un listado de órdenes que el autómata ejecuta de manera secuencial. Estas órdenes se corresponden con el lenguaje máquina del autómata y es un lenguaje de bajo nivel.

En las siguientes tablas se muestra un conjunto de instrucciones.

Tabla 10.10. Instrucciones básicas.

Variables definidas	
Entradas	I, IX, IB, IW
Salidas	Q, QX, QB, QW, QD
Marcas	M, MX, MB, MW, MD
Operaciones lógicas	
Carga inicial	LD
Y	AND
NO-Y	ANDN
O	OR
NO-O	ORN
O exclusiva	XOR
NO-O exclusiva	XORN
Terminar una cadena	
Asignar	ST
Activar	S
Desactivar	R

Tabla 10.11. Instrucciones de bloques funcionales.

Bloques funcionales		
Bloque	**Operadores**	**Descripción**
S R	S1 R	Báscula SR (prioridad S)
R S	S R1	Báscula SR (prioridad R)
CTU	CU, R, PV	Contador ascendente
CTD	CD, R, PV	Contador descendente
CTUD	CU, CD, R, PV	Contador reversible
TP	IN, PT	Temporizador de impulso
TON	IN, PT	Temporizador a la conexión
TOFF	IN, PT	Temporizador a la desconexión

10.13. Los diagramas de Grafcet

El Grafcet (gráfico de función de etapas de transición) es un diagrama en el cual se representa el funcionamiento de un sistema automático y secuencial. El Grafcet también se denomina SFC (*Sequential Function Chart*, diagrama de función secuencial) y es una ayuda a la hora de diseñar y mantener un programa, puesto que se descompone este en partes más simples y por tanto más fáciles de abordar.

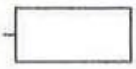
El resultado final del Grafcet es la obtención de un programa en lenguaje de contactos.

10.13.1. Los elementos del diagrama

Los elementos gráficos que intervienen en un diagrama Grafcet son:

Tabla 10.12. Símbolos Grafcet.

Símbolo	Nombre	Descripción
	Etapa inicial	Indica el estado inicial o punto de partida.

Símbolo	Nombre	Descripción
	Etapa	Son las etapas o estados intermedios.
	Transición	Indica la condición para pasar de una etapa a otra.
	Direccionamiento	Indica la dirección de la evolución de las etapas.
	Proceso simultáneo	Indica un proceso simultáneo de varias etapas.
	Etiquetas	Las etiquetas muestran las acciones que se llevan a cabo.

10.13.2. Las etapas

Al ser un programa cíclico, este se desarrolla por etapas o estados. El punto de partida se denomina **etapa inicial**. Esta etapa inicial se representa simbólicamente de manera diferente a las siguientes etapas.

Una etapa se compone de su símbolo con un número para poder identificarlo. Toda etapa está comprendida por una **transición** de entrada y una transición de salida. Al cumplir con las condiciones marcadas, se provoca el paso por esa transición, es decir la salida de una etapa y la entrada en la siguiente.

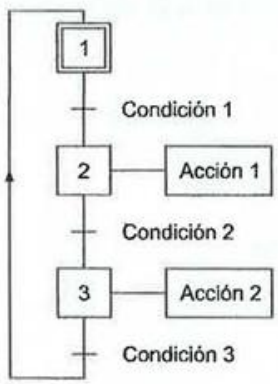


Figura 10.76. *Ejemplo genérico de Grafcet.*

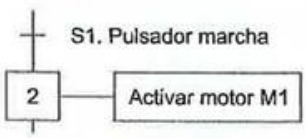


Figura 10.77. *Ejemplo de transición y acción.*

A la condición asociada a una transición se le llama **receptividad**. En el ejemplo de la Figura 10.77, la receptividad de la transición es "S1. Pulsador marcha".

Las **líneas de evolución** se entiende que van de arriba hacia abajo, en caso contrario se añade una flecha para indicar la dirección.

Las etapas llevan asociadas unas **etiquetas** para indicar las acciones que se llevan a cabo.

Las transiciones pueden ser de varios tipos:

- Por nivel. Por ejemplo, al activarse un final de carrera o un pulsador.
- Por ecuación booleana. Se cumple una condición marcada por una ecuación.
- Temporizada. Es un temporizador el que provoca la transición.
- Por variable interna. Se emplean variables internas del programa.
- Automática. Se realiza la transición de manera automática al cumplir una condición.

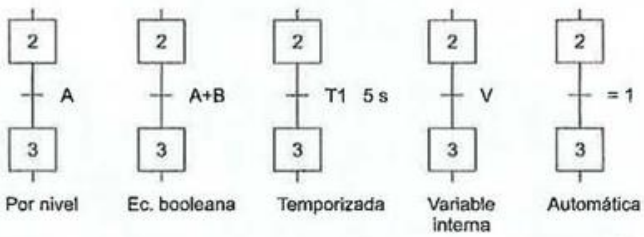


Figura 10.78. *Tipos de transiciones.*

10.13.3. Las reglas

Los diagramas de Grafcet se rigen por unas reglas:

- **Reglas de síntesis:**
  - — La alternativa etapa-transición debe ser respetada.
  - — Dos etapas deben estar separadas por una transición.
  - — Dos transiciones deben estar siempre separadas por una etapa.

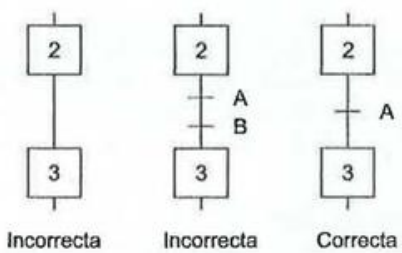


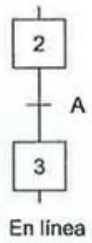
Figura 10.79. *Reglas de síntesis.*

- **Reglas de evolución:**
  - — Etapa inicial. Debe haber al menos una etapa inicial, aunque en casos concretos puede haber varias etapas iniciales.
  - — Activación de etapas. La evolución de una transición implica la desactivación de la etapa anterior y la activación de la etapa siguiente.

10.13.4. Las estructuras

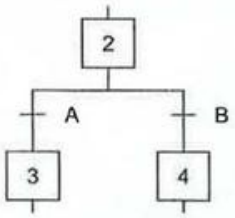
Un diagrama de Grafcet puede adoptar varias estructuras, siendo estas:

- **En línea.** Dos etapas están separadas por una transición.
- **Divergencia en O.** Una etapa puede evolucionar hacia varias etapas.
- **Convergencia en O.** Varias etapas pueden evolucionar convergiendo hacia una única etapa.



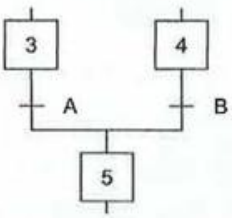
En línea

Figura 10.80. *Grafcet en línea.*



Divergencia en O

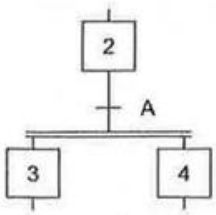
Figura 10.81. *Grafcet en divergencia en O.*



Convergencia en O

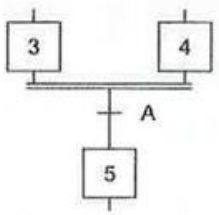
Figura 10.82. *Grafcet en convergencia en O.*

- **Divergencia en Y.** Se emplea cuando se debe representar secuencias que se desarrollan en paralelo. En la Figura 10.83, a partir del estado 2 y al cumplirse la condición A, se pasa a los estados 3 y 4 de manera simultánea.
- **Convergencia en Y.** Normalmente, al terminar las secuencias en paralelo, se suele pasar a un estado único o de convergencia.



Divergencia en Y

Figura 10.83. *Grafcet en divergencia en Y.*



Convergencia en Y

Figura 10.84. *Grafcet en convergencia en Y.*

10.13.5. Implementación del Grafcet

La implementación de un Grafcet se desarrolla en varias etapas o niveles. En un primer nivel se realiza una descripción general del problema y en siguientes niveles se va detallando. Con dos o tres niveles es suficiente para detallar un proceso. En el último nivel se detallan los elementos eléctricos que intervienen en el proceso de automatización.

Actividad resuelta 10.3

Se desea automatizar el siguiente proceso. Un operario acciona el pulsador de una máquina. Esta máquina dispone de una pieza móvil que avanza y al llegar al final de recorrido, se detiene 3 segundos y retrocede hasta situarse como al principio. Solo se pondrá en marcha si se pulsa y la pieza móvil esta replegada. Una señalización indicará cuándo la máquina está en estado de avance.

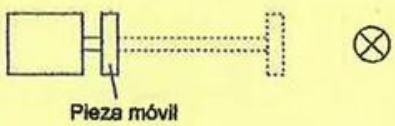


Figura 10.85. *Enunciado.*

Solución:

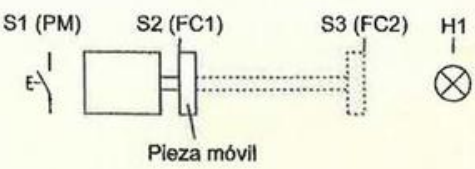


Figura 10.86. *Elementos que intervienen.*

Se asignan las entradas y las salidas del sistema.

Tabla 10.13. Asignación de entradas y salidas.

Elemento	Autómata
S1 – Pulsador de marcha.	I1
S2 – Final de carrera 1. Pieza al final.	I2
S3 – Final de carrera 2. Pieza al principio.	I3
KM1 – Motor en giro directo (avance).	Q1
KM2 – Motor en giro inverso (retroceso).	Q2
H1 – Piloto de señalización.	Q3

Se plantea el Grafcet de primer nivel (descriptivo).

Figura 10.87. *Grafcet de primer nivel.*

A cada etapa se le asigna una marca (M). Y con estos datos se genera el Grafcet de segundo nivel (Figura 10.88).

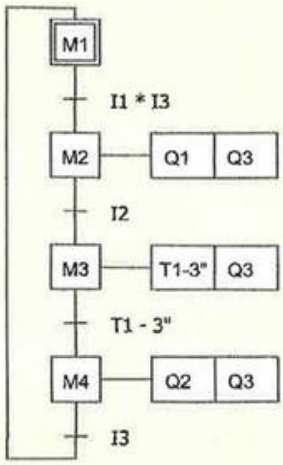


Figura 10.88. *Grafcet de segundo nivel.*

La etapa inicial (M1) se activa cuando las demás etapas están inactivas.

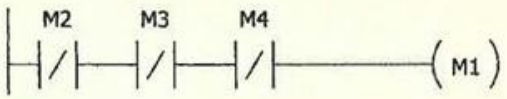


Figura 10.89. *Etapa inicial.*

La condición de transición implica activar la etapa siguiente y desactivar la anterior. La activación se realiza poniéndolo a Set y la desactivación poniéndolo a Reset. Estas instrucciones de Set y Reset se emplean con marcas (M).

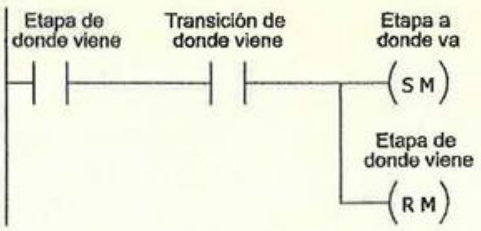


Figura 10.90. *Evolución.*

Así, el paso de la etapa M1 a la etapa M2:

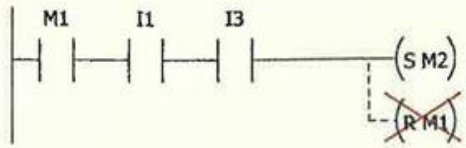


Figura 10.91. *Evolución de la etapa M1 a la M2.*

Todos los Set y Reset del estado inicial (S M1 y R M1) no se ponen puesto que esa opción ya está contemplada con la primera línea (Figura 10.89)

Y para el resto de pasos se procede de la misma manera:

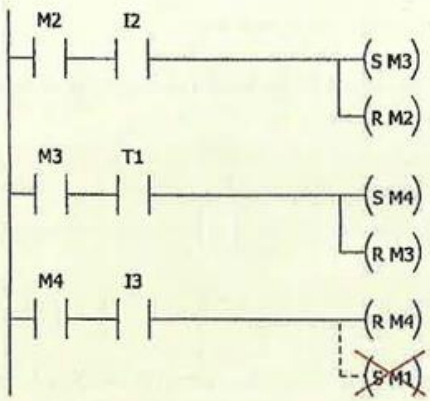


Figura 10.92. *Evolución del resto de etapas.*

Una vez terminadas las secuencias, cada marca realiza sus acciones (activación de salidas, activación de temporizadores, etc.).

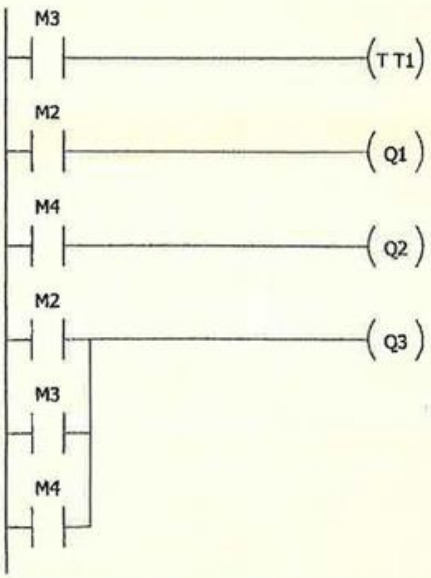


Figura 10.93. *Activación de las salidas.*

Y su conexión eléctrica de las entradas y salidas al autómata será:

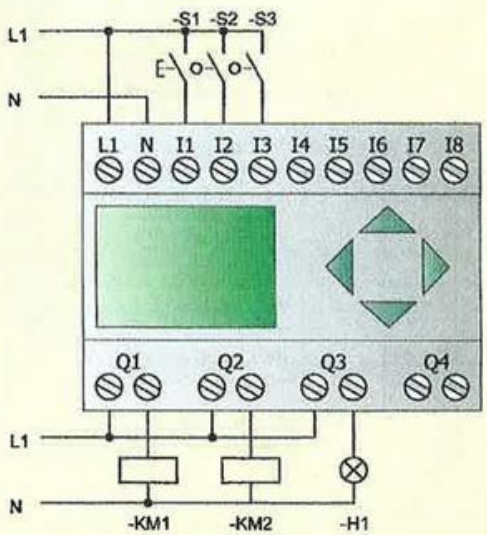


Figura 10.94. *Conexión.*

Actividades de comprobación

10.1. A un módulo de entradas analógicos se puede conectar:

a) Una sonda de temperatura.

b) Un pulsador de paro de emergencia.

c) Un contactor con bobina a una tensión de 24 V_{DC}.

10.2. ¿Qué característica poseen los módulos de salidas digitales a transistor?

a) Se puede conectar cualquier receptor sin importar la tensión.

b) Permiten controlar corrientes mayores que los otros tipos de salidas.

c) Poseen una alta frecuencia de conmutación.

10.3. ¿Qué protección extra se debe emplear cuando un autómata programable maneja cargas resistivas?

a) No necesitan protección extra.

b) Protección mediante diodo y resistencia.

c) Protección mediante diodo y varistor.

10.4. Los paneles de operación se emplean para:

a) Como dispositivo de salida de información hacia el operario.

b) Como dispositivo de entrada de información para el operario.

c) Como dispositivo de entrada y salida de información.

10.5. El bus de comunicación AS-i se emplea para:

a) Que el autómata dé las ordenes a los salidas.

b) En una red de enlace entre los sensores y los actuadores.

c) Comunicarse entre sí una red de varios autómatas programables.

10.6. En la comunicación mediante Ethernet industrial, una de sus características es:

a) Apropiada para grandes distancias entre dispositivos.

b) Sensible a las perturbaciones electromagnéticas generadas principalmente por la maniobra de motores.

c) Permite un gran intercambio de información a costa de bajar su velocidad de transmisión.

10.7. En el lenguaje del diagrama de bloques funcionales, dos dispositivos en serie se representan por:

a) Una función AND.

b) Una función OR.

c) Una función NOT.

10.8. En el lenguaje del diagrama de bloques funcionales, dos dispositivos en paralelo se representan por:

a) Una función AND.

b) Una función OR.

c) Una función NOT.

10.9. En el lenguaje de contactos, la instrucción Set:

a) Activa su salida, solo si su entrada está activada.

b) Activa su salida, y permanece en ese estado aunque se desactive su entrada.

c) Alterna su estado a cada variación de su entrada, en el primer pulso se activa y en el segundo pulso se desactiva.

10.10. En un diagrama Grafcet:

a) Las etapas están separadas por dos transiciones.

b) Puede haber etapas sin transiciones.

c) Solo puede haber una única transición entre dos etapas.

10.11. En un diagrama de Grafcet, la divergencia en O:

a) Representa el paso de una etapa a varias etapas en paralelo de las cuales solo puede ir hacia una única rama.

b) Representa el paso de una etapa a varias etapas en paralelo de las cuales todas se desarrollan en paralelo.

c) Representa el paso de varias etapas a una única etapa de las cuales las anteriores etapas se desarrollaron en paralelo.

10.12. En un diagrama de Grafcet, la convergencia en Y:

a) Representa el paso de varias etapas en paralelo a una única etapa

b) Representa el paso de una etapa a varias etapas que se desarrollan en paralelo.

c) Representa el paso de una etapa a otra etapa que se desarrolla en serie.

Actividades de aplicación

10.1. Clasifica los autómatas en función de estructura externa.

10.2. Indica las partes de las que se compone un autómata a nivel interno.

10.3. ¿Para qué se emplea una fuente de alimentación en los autómatas?

10.4. ¿Qué diferencia hay entre una entrada analógica y una digital o discreta?

10.5. ¿Qué diferencia hay entre un módulo de salida a relé y un módulo a salida a transistor?

10.6. ¿Qué diferencias existen entre un display o pantalla alfanumérica y una gráfica?

10.7. ¿Qué ventajas tienen los sistemas de conexión mediante bus frente a las conexiones punto a punto? Cita al menos dos sistemas de bus.

10.8. ¿Qué es un sistema *SCADA*?

10.9. Indica los tipos de lenguajes de programación que conozcas.

10.10. Cita las áreas o mapa de memoria que se emplean en la programación de autómatas. Indica cuál es la letra identificativa que les representa.

10.11. ¿Para qué se emplean los diagramas de Grafcet?, ¿en qué se basan?

Casos prácticos

10.1. Realiza el esquema de maniobra en lógica cableada de un arranque de un motor trifásico el cual se puede poner en marcha desde dos pulsadores y parar desde uno. El circuito dispone de protección mediante relé térmico. Dota al circuito de señalización de disparo del relé térmico y de funcionamiento del motor.

Pasa el esquema a lógica programada empleando un autómata programable.

10.2. Realiza el esquema de maniobra en lógica cableada de un arranque de un motor trifásico con inversión de giro. El motor dispone de protección mediante relé térmico. Dota al circuito con señalización del sentido de giro.

Pasa el esquema a lógica programada empleando un autómata programable.

10.3. Un automatismo, consistente en un motor trifásico con arranque estrella-triángulo, se pone en marcha al ser activado un final de carrera. Se puede parar en cualquier momento con un pulsador o bien al activarse un sensor de proximidad (a 3 hilos). La alimentación eléctrica del autómata es a 24 V_{cc}. Realiza cómo sería la conexión eléctrica entre el autómata y todos los captadores y actuadores.

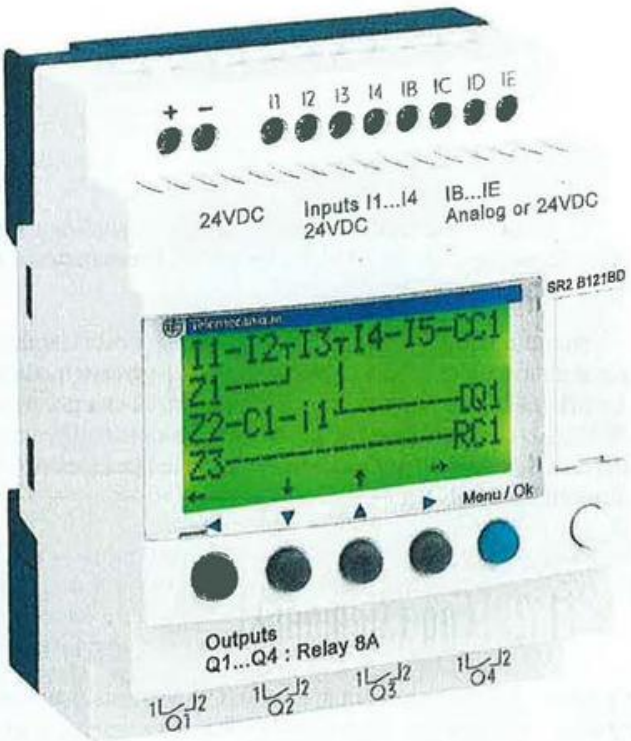
10.4. Realiza el diagrama de Grafcet de primer nivel para el siguiente automatismo:

- Estando el circuito en reposo, si se pulsa sobre el pulsador S1, se activa KM1 que pone en funcionamiento un motor trifásico (M1).
- Transcurridos 5 segundos, se activa un contactor (KM2), que pone en funcionamiento un segundo motor.
- Se mantiene en esta situación hasta que se acciona el pulsador de paro (S2), volviendo el circuito al estado de reposo.

10.5. Realiza el diagrama de Grafcet de segundo nivel para el automatismo del caso anterior.

Relés programables

11



Contenidos

- 11.1. Los relés programables
- 11.2. Logo (Siemens)
- 11.3. Zelio Logic (Schneider)

Objetivos

- Tener conocimiento de los principales autómatas del mercado.
- Aprender a programar en el lenguaje de diagramas de bloques de funciones.
- Aprender a programar en el lenguaje de contactos.
- Aprender a programar con el Logo.
- Aprender a programar con el Zelio.
- Conocer cómo conectar las entradas a un autómata.
- Conocer cómo conectar las salidas a un autómata.

Los relés programables son unos autómatas compactos muy empleados en aplicaciones donde no se requiere una gran capacidad de procesamiento. Su bajo coste y facilidad de programación hace que su uso se esté generalizando.

Todas las marcas comerciales que tienen en su catálogo autómatas, tienen algún modelo de relé programable. De entre ellas, un alto porcentaje de instalaciones se llevan a cabo con el modelo Logo de Siemens y Zelio de Schneider Electric. Estas mismas marcas proveen de un *software* para la realización de la programación.

11.1. Los relés programables

A la hora de realizar una instalación eléctrica con un automatismo programable, el primer paso es la selección de dicho autómata. Su elección dependerá de la complejidad a tratar. Existen una serie de aplicaciones donde no es necesario contar con una elevada capacidad de procesamiento ni de un gran número de entradas o salidas. En estos casos se emplean relés programables, que si bien tienen ciertas limitaciones, son idóneos para estas aplicaciones.

RECUERDA

A mayor prestación de un modelo de autómata, su precio se incrementa notablemente. Por ello el autómata ideal para una aplicación será aquel que a menor coste es capaz de resolver un problema de automatización.

Para estos casos surgieron los relés programables. Los relés programables se sitúan en el escalafón más bajo de la automatización, lo cual los hace apropiados para tareas simples de control, con pocas entradas o salidas.

Todas las firmas comerciales de autómatas disponen de algún modelo de tales requerimientos, por ejemplo están: Siemens con el Logo, Schneider con el Zelio, Omron con el Zen, Moeller con el Easy, etc.

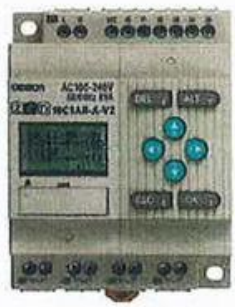


Figura 11.1. *Zen. (Cortesía de Omron.)*

Figura 11.2. *Zelio. (Cortesía de Schneider Electric.)*

Figura 11.3. *Logo (Cortesía de Siemens.)*

Figura 11.4. *Easy (Cortesía de Moeller.)*

Son modelos de tipo compacto, lo que significa que cada dispositivo dispone de todas las partes necesarias: entradas, salidas, CPU, etc.

Aunque debido a la gran aceptación que están teniendo algunos modelos han evolucionado y permiten poder acoplarles algún módulo extra que le aporta una gran flexibilidad, como por ejemplo: entradas para sondas de temperaturas de tipo Pt-100, módulos de comunicaciones para domótica (EIB-KNX), etc.

11.2. Logo (Siemens)

El Logo es el relé programable básico de Siemens. Inició su andadura comercial en el año 1996. Desde entonces está en continua evolución. Sus primeras versiones eran muy simples, su programación se realizaba solo mediante la programación por diagrama de bloques funcionales. Hoy en día se puede realizar en bloques de funciones o en lenguaje de contactos.

11.2.1. Tipos de Logo

Los módulos base de Logo están disponibles para dos clases de tensión:

Clase 1 ≤ 24 V. Comprende los modelos de 12 V_{CC}, 24 V_{CC} y 24 V_{CA}.

Clase 2 > 24 V. Comprende los modelos de 115 a 240 V CA/CC.

También existen dos versiones:

Logo Basic. Versión con display.

Logo Pure. Versión sin display.

Figura 11.5. *Logo Pure.*

Figura 11.6. *Logo Basic.*

El Logo dispone de modelos de 8 y 12 entradas, pudiendo ser estas analógicas o digitales. El número de salidas es de 4 o de 8, de tipo salida a relé o a transistor. Asimismo, hay versiones que ya cuentan internamente con algún sistema de comunicación, aunque se le puede dotar con módulos externos para adquirir dichas capacidades.

11.2.2. Partes del Logo

El logo consta de las siguientes partes:

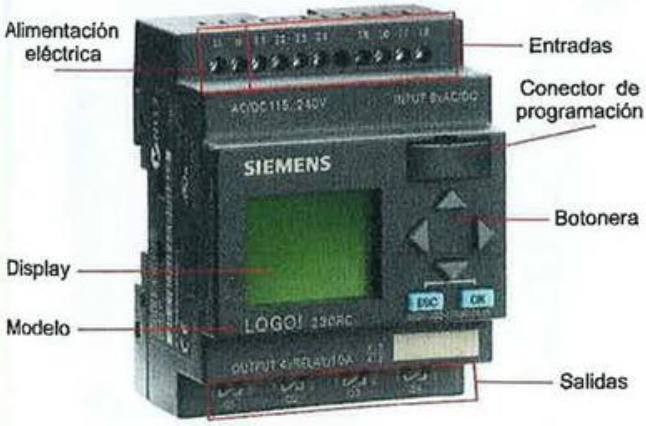


Figura 11.7. *Logo (Cortesía de Siemens.)*

- **Alimentación eléctrica.** Consta de dos bornes para la alimentación eléctrica. Si es un modelo de 230 V_{CA}, se debe proteger mediante un interruptor magnetotérmico. Si es un modelo de 24 V o de 12 V, es necesario contar con una fuente de alimentación de dicho valor.
- **Entradas.** El modelo básico cuenta con 8 entradas digitales, numeradas desde la I1 a I8.
- **Salidas.** El modelo básico cuenta con 4 salidas digitales, numeradas desde la Q1 a Q4.
- **Conector de programación.** Es el conector mediante el cual se traspasa el programa al Logo. Se puede conectar a un ordenador o a una tarjeta de memoria. Este conector va protegido mediante una tapa.
- **Botonera.** Dispone de un panel de control con 4 teclas de cursor más 2 teclas de función. Las teclas de cursor se pueden utilizar a nivel interno mediante programa.
- **Display o pantalla LCD.** Permite visualizar mensajes, así como la gestión de menús de programación.
- **Conector TD.** En un lateral cuenta con un conector para un panel de operación el cual dispone de un display junto con una botonera.
- **Interfaz de ampliación.** Dispone en el otro lateral de un conector mediante el cual es posible su ampliación a través de módulos.

11.2.3. Conexión a la fuente de alimentación

Para proteger al Logo frente a picos de tensión, basta con emplear un varistor conectado a la entrada de tensión. La tensión de servicio de este varistor debe ser como mínimo un 20 % superior a la tensión de servicio.

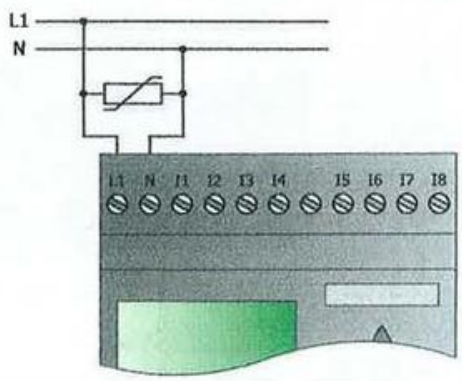


Figura 11.8. *Conexión de un varistor al Logo.*

11.2.4. Conexión de las entradas

Las entradas de señal se conectarán a la parte de las entradas, de tal manera que reciban fase o positivo (en función del modelo). Esta tensión la detectará un optoacoplador de entrada y la interpretará como un "1" lógico.

El bloque de las entradas está dividido en grupos. Por ejemplo, los modelos de ocho entradas cuentan con dos grupos: de I1 a I4 y de I5 a I8. Cada grupo solo puede recibir una fase, aunque puede haber fases diferentes en distintos grupos (Figura 11.9).

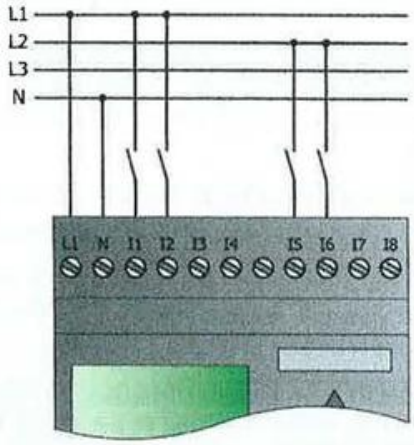


Figura 11.9. *Conexión de las entradas.*

11.2.5. Conexión de las salidas

Se puede conectar cualquier carga a la salida siempre y cuando se respete la corriente máxima en las salidas que marca el fabricante según el modelo. Estas salidas deben contar con algún sistema de protección, como por ejemplo con un interruptor magnetotérmico o con fusible.

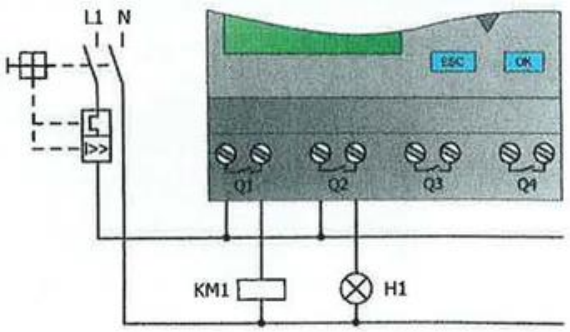


Figura 11.10. *Conexión de las salidas.*

11.2.6. Los módulos de expansión

El Logo de Siemens dispone de una serie de módulos de expansión que mejoran sus prestaciones:

- Los módulos de ampliación de entradas, tanto digitales como analógicas.
- Los módulos de ampliación de salidas, tanto digitales como analógicas.
- El display de texto externo. Con visualización y cuatro teclas de función.
- Los módulos de comunicación KNX. El estándar EIB-KNX se emplea en el área de domótica.
- Los módulos de comunicación AS-i. Se facilita la conexión eléctrica entre los actuadores y sensores mediante un bus de comunicación con la consiguiente reducción del cableado.
- Los módulos de comunicación Ethernet. La red Ethernet es de mayor aceptación actualmente en el área de comunicación industrial.

Figura 11.11. *Módulo de entradas analógicas.*

Figura 11.12. *Módulo bus AS-i.*

Figura 11.13. *Display externo.*

También en el área de las memorias externas ha evolucionado, desde los cartuchos de memoria hasta las memorias de tipo SD.

Entre la innovaciones más recientes se encuentran aplicaciones para *smartphones* y *tablets* con la posibilidad de conectarse al Logo.

11.2.7. La programación del Logo

Para realizar la programación del Logo se pueden emplear dos métodos: mediante el propio Logo utilizando la botonera, o mediante un ordenador y su posterior transferencia. En este caso nos centraremos sobre el ordenador y su *software*.

El *software* para ordenador que proporciona Siemens se llama LogoSoft Comfort.

La interfaz de usuario del *software* de programación de LogoSoft consta de las siguientes partes:

- **Barra de menús.** Está situada en la parte superior. En ella se encuentran los comandos para la elaboración, configuración y transferencia de programas.
- **Barra de símbolos estándar.** Contiene los botones de comandos de uso general, tales como: crear, cargar y guardar el programa; cortar y copiar; transferencia de programas, etc.
- **Barra de herramientas.** Se encuentra a la izquierda. Contiene una serie de botones que facilitan y agilizan la creación de los programas.
- **Barra de estado.** Proporciona información adicional, tal como el nivel de zoom, la situación de un programa o la actividad.
- **Plataforma de programación.** Sobre esta superficie se desarrolla el programa.
- **Ventana de información.** Se encuentra en la parte inferior y proporciona indicaciones e información.

11.2.8. Los bloques de funciones

En la programación mediante bloques funcionales, cada bloque representa una función. Existen varios tipos de funciones que se agrupan entre sí. Para acceder a ellas, se puede ir a la barra de herramientas donde se encuentran estos.

El LogoSoft adapta el entorno de programación en función del modelo empleado. Así, por ejemplo, un modelo con solo 8 entradas, solo muestra esas 8 y un modelo con 12 entradas mostrará 12.

Al situar el cursor sobre cada una de ellas, proporciona información acerca del elemento.

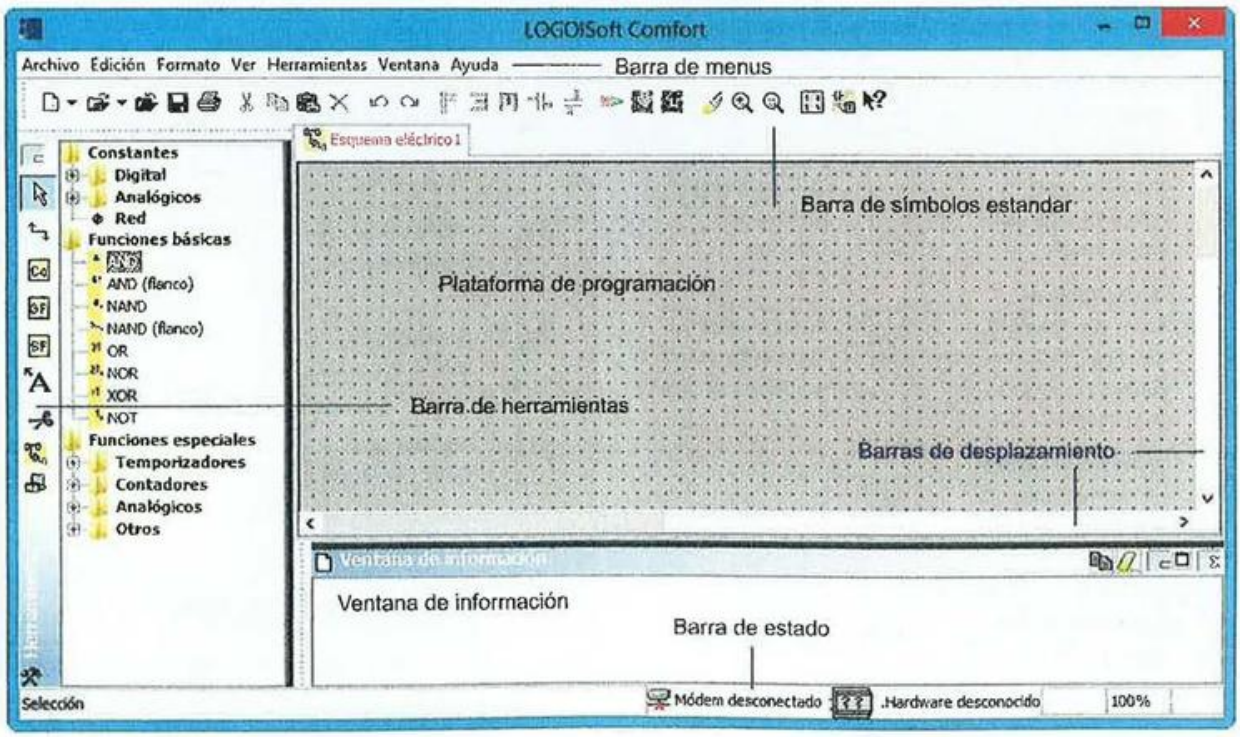


Figura 11.14. *Software de programación LogoSoft Confort.*

Los conectores

Representan básicamente a los diferentes tipos de entradas y salidas.

Figura 11.15. *Conectores.*

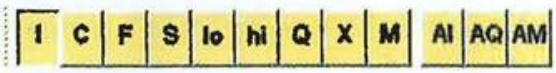


Figura 11.16. *Tipos de conectores.*

Tabla 11.1. Tipos de conectores.

I	Son las entradas. Dependiendo del modelo varía su número.	Q	Son las salidas.
C	Son las teclas del cursor. Se programan como entradas.	X	Son conectores abiertos o no utilizados.
F	Son las teclas de función que posee el panel de operaciones externo. Dispone de cuatro teclas.	M	Son las marcas. Representan a relés auxiliares internos.
S	Son los bits de registro de desplazamiento. Su cantidad depende del modelo.	AI	Entrada analógica.
Io	Representa un nivel lógico de "0".	AQ	Salida analógica
hi	Representa un nivel lógico de "1".	AM	Marcas analógicas.

Las funciones básicas

Representan a las funciones realizadas por las puertas lógicas. Las funciones AND, NAND, OR y NOR cuentan con cuatro entradas por bloque.

Figura 11.17. *Funciones básicas.*

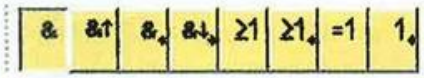


Figura 11.18. *Tipos de funciones básicas.*

Tabla 11.2. Tipos de funciones básicas.

&	Función lógica AND. Por niveles.	≥1	Función lógica OR.
&↑	Función lógica AND. Por flancos.	≥1↓	Función lógica NOR.
&↓	Función lógica NAND. Por niveles.	=1	Función lógica XOR (OR exclusiva).
&↓↓	Función lógica NAND. Por flancos.	1↓	Función lógica NOT. Inversor.

Las funciones especiales

Las funciones especiales se dividen en cuatro grupos:

- Temporizadores. Son funciones en las cuales interviene el parámetro tiempo.
- Contadores. Realizan operaciones de cuenta.

- Analógicos. Son funciones relacionadas con parámetros de tipo analógico.
- Otros. Incluyen funciones diversas tales como: los textos o algunos tipos de relés especiales.

Figura 11.19. *Funciones especiales.*

Figura 11.20. *Tipos de funciones especiales.*

Tabla 11.3. Tipos de funciones especiales de temporizadores.

	Retardo a la conexión. La salida se activa trascurrido un tiempo. Entrada **Trg** (*trigger*). Dispara el temporizador.
	Retardo a la desconexión. La salida se desactiva tras haber transcurrido el tiempo configurado. Entrada **Trg.** Dispara el temporizador. Entrada **R.** Una señal en la entrada reinicia el temporizador.
	Retardo a la conexión/desconexión. La salida se activa trascurrido un tiempo (TH) y se desactiva transcurrido otro tiempo (TL), ambos configurables.
	Retardo a la conexión con memoria. Se activa con una señal de impulso. Entrada **Trg** y entrada **R.**
	Relé de barrido (salida de impulso). Una señal de entrada genera una señal de duración configurable. Entrada **Trg.**
	Relé de barrido (activado por flanco). Un impulso de entrada genera un número predeterminado de impulsos de salida con una relación impulso/pausa definida. Entrada **Trg** y **R**, y se configura el número de ciclos.
	Generador de impulsos asíncrono. Genera una onda de impulsos configurable. Entrada **En.** Activa y desactiva el generador de impulsos. Entrada **INV.** Invierte la onda de salida.
	Generador aleatorio. La salida del generador se activa y desactiva dentro de un tiempo configurable.
	Interruptor de alumbrado de escalera. Un flanco de entrada inicia un tiempo configurable que transcurrido desactiva la salida. Entrada **Trg.**
	Interruptor bifuncional. Cuenta con dos funciones: interruptor de impulsos con retardo a la desconexión y como pulsador (alumbrado permanente). Entrada **Trg** y **R.**
	Temporizador semanal. La salida se controla en función de un día de la semana. Dispone de tres programaciones.
MM DD	**Temporizador anual.** La salida se controla en función de la fecha.
AC	**Reloj astronómico.** La salida se controla en función de la salida y puesta del sol según unas coordenadas geográficas.
SW	**Cronómetro.**

Tabla 11.4. Tipos de funciones especiales de contadores.

+/-	**Contador adelante/atrás.** Realiza una cuenta en modo ascendente o descendente. Entrada **Cnt.** Cuenta los pulsos (flancos de subida). Entrada **Dir.** Indica la dirección de la cuenta (0 ascendente y 1 descendente). Entrada **R.** Reinicia el contador.
h	**Contador de las horas de funcionamiento.**
	Selector de umbral.

Tabla 11.5. Tipos de funciones especiales de tipo analógico.

+= A→	Instrucción aritmética.	A→	Rampa analógica.
ΔA	Comparador analógico.	A→	Regulador PI.
/A	Conmutador analógico de valor umbral.	A→	Modulación por ancho de impulsos (PWM).
A→	Amplificador analógico.	Ax	Filtro analógico.
∫A ±Δ	Vigilancia de valor analógico.	Ax	Máximo/mínimo.
/A Δ1	Conmutador analógico de valor diferencial.	Ax	Valor medio.
A→	Multiplexor analógico.		

Tabla 11.6. Tipos de funciones especiales de otros tipos.

RS	**Relé autoenclavado.** Entrada **S**. Con una señal de entrada, la salida se activa y permanece en ese estado. Entrada **R**. Con una señal de entrada, la salida se desactiva y permanece en ese estado.		
RS	**Relé de impulsos.** Funciona igual que un telerruptor. Cambia el estado de cada salida por cada pulso de entrada.		
	Texto de aviso.	>>	Registro de desplazamiento.
	Interruptor de *software*.	+= E→	Detección de error de la instrucción aritmética.

Con las funciones especiales es posible desarrollar aplicaciones complejas de una manera muy sencilla.

Debido a que el Logo está en continua evolución, en cada nueva versión se incluyen nuevas funciones. Así, es posible que al emplear un Logo de las primeras versiones, algunas de las funciones no estén disponibles.

Actividad resuelta 11.1

Se desea realizar el proceso para encender y apagar una lámpara desde dos puntos cualesquiera (función conmutador).

Solución:

Para resolver el problema hay que emplear un bloque de función especial llamado interruptor bidireccional. Este elemento se comporta de igual manera que un telerruptor. Como se activa desde dos puntos, se debe emplear una puerta OR con los pulsadores. Con cualquier pulsación se enciende y con otra pulsación se apaga.

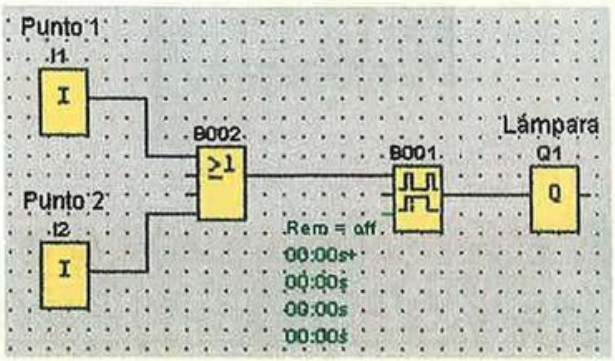


Figura 11.21. *Programa.*

Actividad resuelta 11.2

Se desea realizar el proceso para automatizar un sistema de riego para que se active los sábados y realice ese riego desde las 10:00 hasta las 10:15 h. El sistema contará con un interruptor, de tal manera que para realizar el riego el interruptor debe estar cerrado.

Solución:

Como salida se va a emplear una electroválvula, la cual al estar activada, se abre permitiendo la circulación del agua.

Como debe cumplir con dos condiciones (interruptor y día/hora de la semana) se debe colocar una puerta AND.

Para saber el día y la hora se empleará un temporizador semanal. Una vez colocado el temporizador en la plataforma de programación, este se debe configurar. Para ello nos dirigimos al menú *Edición* y entramos en *Propiedades del bloque*. Cada temporizador semanal permite hasta tres programaciones.

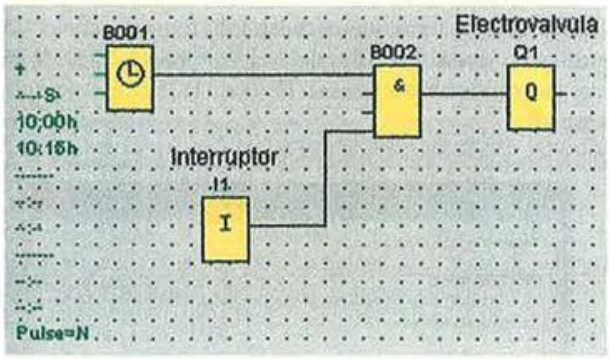


Figura 11.22. *Programa.*

Actividad resuelta 11.3

Se desea automatizar el control de una luz, de tal manera que cuando un sensor de presencia detecte una persona provoque el encendido de una lámpara. Cuando ya no detecte la presencia de nadie y pasen 3 segundos la lámpara se apagará.

Solución:

Un sensor de presencia se comporta como un interruptor. En este caso, si detecta a alguien el interruptor se cierra y se abre cuando deja de detectar.

Para controlar el tiempo se emplea un temporizador con retardo a la desconexión calibrado a un tiempo de 3 segundos.

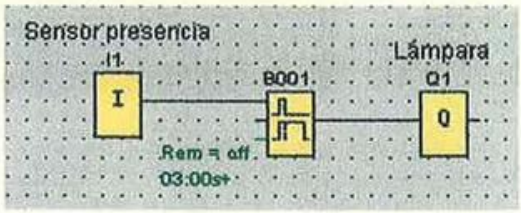


Figura 11.23. *Programa.*

11.2.9. La realización de un programa

Partimos del supuesto de que se desea pasar una automatización mediante lógica cableada a lógica programada. El circuito de ejemplo de partida consiste en el arranque de un motor mediante una botonera marcha-paro y el arranque de un segundo motor transcurrido un tiempo, tal y como se muestra en el esquema de la Figura 11.24.

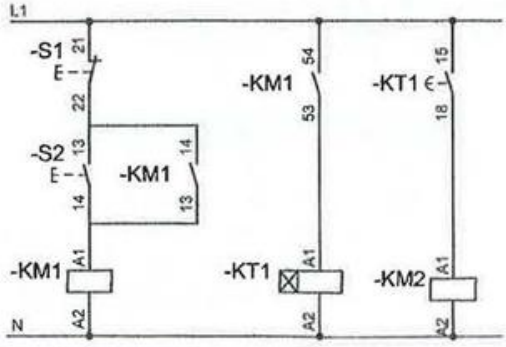


Figura 11.24. *Esquema eléctrico.*

Tabla 11.7. Lista de referencias.

Elemento	Desig. Logo	Descripción
S1	I1	Pulsador de paro
S2	I2	Pulsador de marcha
KM1	Q1	Motor 1
KM2	Q2	Motor 2
KT1		Temporizador

Con los datos de los elementos de entradas y salidas se elabora la tabla de referencias donde se asigna cada elemento a las entradas y salidas del Logo (Tabla 11.7).

Con estos datos, se obtienen las funciones lógicas para cada receptor:

$$Q1 = \overline{I1} \times (I2 + Q1)$$

$$KT1 = \overline{Q1}$$

$$Q2 = KT1$$

SABÍAS QUE

El *software* de programación LogoSoft Comfort está disponible para su descarga gratuita desde la web del fabricante, www.siemens.es.

Una vez lanzado el *software* LogoSoft Comfort, un programa se empieza con la opción *Nuevo* del menú *Archivo* o desde el icono de la barra de menús.

El primer paso es indicar al programa qué sistema de programación se va a emplear (Figura 11.25). En esta unidad didáctica se va a utilizar el sistema de diagramas de

funciones (FUP) con el Logo, aunque también se puede programar con el lenguaje de contactos.

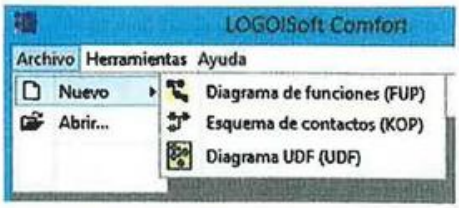


Figura 11.25. *Menú archivo nuevo.*

También es necesario indicar el *hardware* empleado, opción que se encuentra en el menú *Herramientas* (Figura 11.26). Aquí indicaremos qué tipo de Logo se va a emplear.

Figura 11.26. *Selección de dispositivos.*

Partiendo de las funciones lógicas, se colocan los diferentes bloques funcionales, empezando por los conectores (entradas y salidas) y continuando por las funciones (funciones básicas, funciones lógicas).

De los conectores, se selecciona la entrada (I) y se lleva a la plataforma de programación. Con el botón derecho, se entra en las propiedades y se configura el pulsador de paro como normalmente cerrado (Figura 11.27).

Con el pulsador de marcha (S2-I2) se procede igual pero se configura como contacto normalmente abierto. En la pestaña de comentario se puede añadir algún texto que ayude a identificar la entrada (Figura 11.27).

El siguiente paso es colocar las funciones generales (AND, OR) y funciones especiales (temporizador con retardo a la conexión). Entrando a sus propiedades de bloque, se configura su tiempo (Figura 11.28), por ejemplo 3 segundos.

Figura 11.28. *Configuración del temporizador.*

Una vez colocados todos los bloques funcionales tan solo falta realizar el conexionado entre ellos. Para ello se debe seleccionar la función *Conectar* de la barra de herramientas. Se pincha en una conexión del bloque a conectar y se suelta en el otro punto.

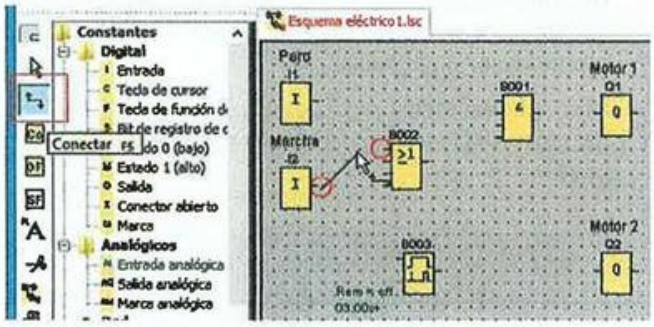


Figura 11.29. *Conexionado de bloques funcionales.*

Figura 11.27. *Configuración de las entradas.*

Una vez conectados todos los bloques funcionales (Figura 11.29), el programa estaría finalizado (Figura 11.30) y pasaría a la fase de simulación.

RECUERDA

Para realizar la conexión eléctrica entre dos bloques funcionales se debe seleccionar *Conectar* y pinchar con el ratón en el punto de inicio de la conexión y sin soltar se arrastra hasta el destino donde se soltará.

Una vez conectados, se puede mover las conexiones eléctricas para situarlas a gusto.

11.2.10. La simulación

Una de las grandes facilidades que ofrece el *software* LogoSoft Comfort es la posibilidad de simular la programación realizada, aspecto que facilita la depuración del programa.

En la barra de herramientas se encuentra el modo de simulación. Al entrar en ella el entorno cambia pasando a disponer de los útiles de simulación. Además, en la parte inferior de la plataforma de programación, aparecen las entradas y salidas utilizadas en el programa, en las cuales es posible ver su estado (activado o desactivado) y actuar sobre ellas. Junto a estas, aparecen los botones de iniciar, pausar y cancelar la simulación.

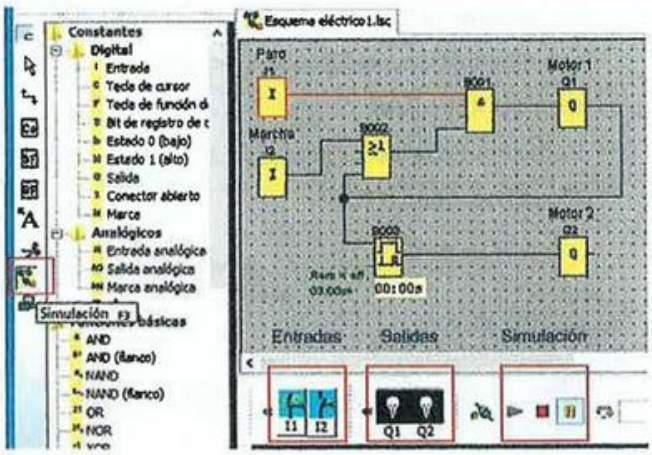


Figura 11.30. *Programa terminado y en fase de simulación.*

En esta barra de simulación aparecerán tantas entradas y salidas como se hayan empleado en la programación.

Se dispone de tres botones para el control de la simulación: *Iniciar simulación*, *Cancelar simulación* y *Realizar pausa de la simulación*. Por ello, el primer paso es iniciar la simulación activándola.

El conexionado ha cambiado de color. Las líneas en color rojo son líneas a nivel lógico 1, y en color azul a nivel lógico 0.

Al activarse una salida, esta se marca cambiando de color en la barra de simulación.

11.3. Zelio Logic (Schneider)

El relé programable Zelio pertenece a la gama más baja de autómatas de la marca Schneider. El Zelio se puede programar tanto en lenguaje de contactos como en diagrama de bloques funcionales, de similar manera que el Logo.

SABÍAS QUE

Telemecanique es la marca que en un principio comercializaba el Zelio, por ello muchos modelos van etiquetados así. Telemecanique pertenece al grupo Schneider Electric y la tendencia de este grupo es utilizar el nombre del grupo como marca comercial.

11.3.1. Tipos de Zelio

La gama Zelio se divide en dos grupos:

- SR2. Modelos de tipo compactos.
- SR3. Modelos de tipo modular.

El rango de tensiones es el típico: 12 V_{CC}, 24 $V_{CA/CC}$ y 100-240 V_{CA}. El número de entradas varía entre modelos, habiendo de 6, 8 y 12 entradas y de 4 y 8 salidas. Existen modelos que manejan tanto entradas como salidas de tipo digital con otros modelos que las combinan.

Figura 11.31. *Zelio (con pantalla).*

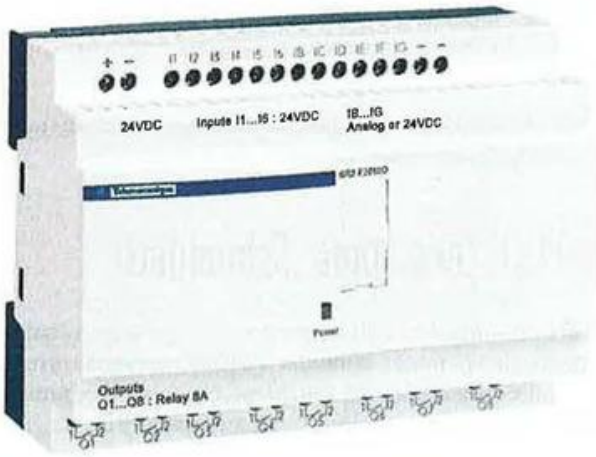


Figura 11.32. *Zelio (sin pantalla).*

11.3.2. Partes del Zelio

El Zelio consta de las siguientes partes:

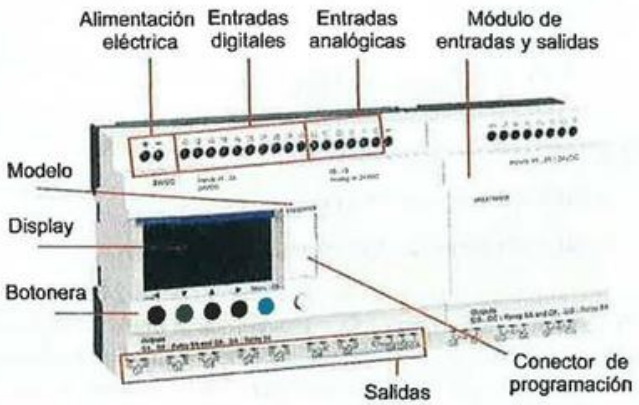


Figura 11.33. *Partes del autómata Zelio (Cortesía de Schneider).*

- **Alimentación eléctrica.** Consta de dos bornes para la alimentación eléctrica. Si es un modelo de 24 V o de 12 V, es necesario contar con una fuente de alimentación de dicho valor.
- **Entradas.** Están situadas en la parte superior del Zelio. Su número y naturaleza depende del modelo. En las entradas de tipo analógico su valor oscila entre 0-10 V. Van etiquetadas con la letra I.
- **Salidas.** Están situadas en la parte inferior del Zelio. Su número depende del modelo. Van etiquetadas con la letra Q. El tipo de salida puede ser a relé (8 A) o a transistor.
- **Botonera.** Dispone de un panel de control con cuatro teclas de cursor más dos teclas de función. Estas teclas permiten configurar, programar, controlar y supervisar su desarrollo.

  La tecla *Mayus* corresponde a la de color blanco. Al pulsarla aparece un menú contextual encima de las teclas de cursor (de color gris).

  La tecla *Menú/Aceptar* corresponde a la de color verde. Se emplea para realizar todas las validaciones: menú, submenú, programa, parámetros, etc.

  Las teclas de cursor (de color gris) se pueden utilizar en la programación como entradas.
- **Display o pantalla LCD.** Permite visualizar mensajes, así como la gestión de menús de programación. Se compone de cuatro líneas de 18 caracteres.
- **Conector de programación.** Es el conector mediante el cual se traspasa el programa al Logo. Se puede conectar a un ordenador o a una tarjeta de memoria. Este conector va protegido mediante una tapa.

11.3.3. Los módulos de expansión

El Zelio de Schneider dispone de una serie de módulos de expansión que mejoran sus prestaciones:

- Los módulos de ampliación de entradas, tanto digitales como analógicas.
- Los módulos de ampliación de salidas, tanto digitales como analógicas.
- Los módulos de comunicación para Modbus.
- Los módulos de comunicación para Ethernet.
- Interface Bluetooth.
- Cartuchos de memoria, para copias de seguridad.
- Modem telefónico GSM.

Figura 11.34. *Cartucho de memoria.*

Figura 11.35. *Módulo de 4 entradas y 2 salidas.*

Figura 11.36. *Módulo de 8 entradas y 6 salidas.*

SABÍAS QUE

Existen varios módulos de entradas y salidas en los cuales varía el número de entradas y salidas, de esta manera es muy fácil adaptar el *hardware* a las necesidades físicas y contener el coste de la instalación.

11.3.4. Las conexiones

El conexionado tanto de las entradas como de las salidas, se realiza de idéntica manera que con el Logo.

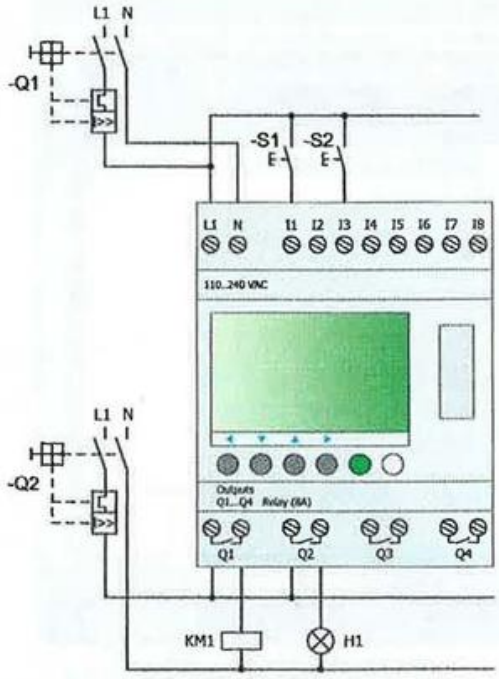


Figura 11.37. *Las conexiones en el Zelio.*

Cuando las entradas reciben una señal de fase o de positivo se interpretará como un 1 lógico, en caso contrario se interpretará como un 0 lógico.

Se debe proteger con un interruptor automático magnetotérmico o con fusible al propio autómata y a las entradas.

Las salidas también deben estar protegidas. A la hora de diseñar la parte de las salidas se debe tener en cuenta que las corrientes de cada receptor no deben sobrepasar a la máxima admisible por el Zelio, normalmente de 8 A.

RECUERDA

La corriente máxima admisible por cada salida del autómata está limitada. Si se necesita controlar receptores mayores se puede intercalar un contactor como elemento de conmutación de potencia.

11.3.5. La programación del Zelio

El Zelio se puede programar desde la botonera situada en el frontal y debajo del display, pero es mucho más cómodo realizarla desde un ordenador y posteriormente se vuelca al Zelio.

Schneider dispone del *software* de programación específico para el Zelio, llamado *Zelio Soft*. Nada más iniciarlo nos muestra una pantalla (Figura 11.38) con las operaciones más frecuentes.

SABÍAS QUE

El *software* de programación Zelio Soft está disponible para su descarga gratuita desde la web del fabricante.

Figura 11.38. *Pantalla de inicio.*

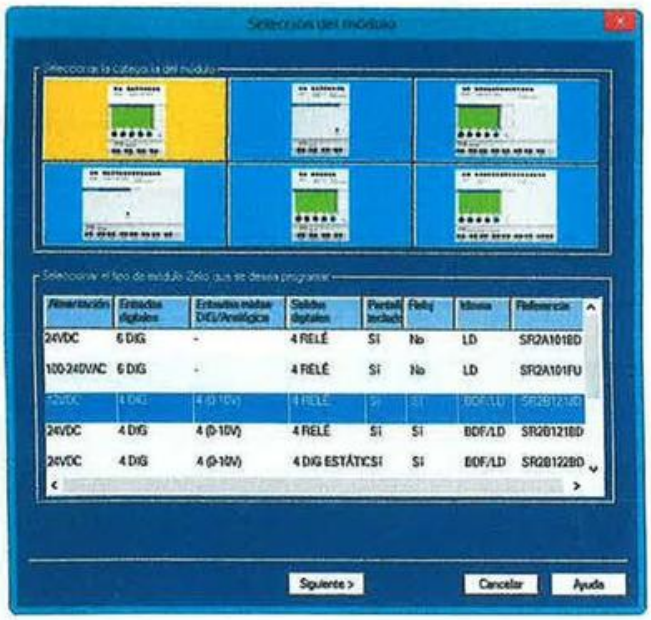


Figura 11.39. *Pantalla de selección de módulo.*

Al crear un programa nuevo, lo primero es seleccionar el módulo. Para ello, mediante un menú visual se muestran los diferentes módulos junto con sus características según versiones (Figura 11.39). En caso de ser un Zelio modular se pueden seleccionar los módulos externos.

La forma de realizar la programación del Zelio depende del modelo empleado. Hay modelos que admiten tanto la programación en lenguaje de contactos (Ladder) como en diagrama de bloques de funciones (BDF). Cuando se elige modelo y versión, aparece una columna llamada *Idioma*, en la que se muestra con cuál se puede llevar a cabo esta tarea. Si el modelo en cuestión admite ambas formas aparecerá a continuación una pantalla para su selección (Figura 11.40).

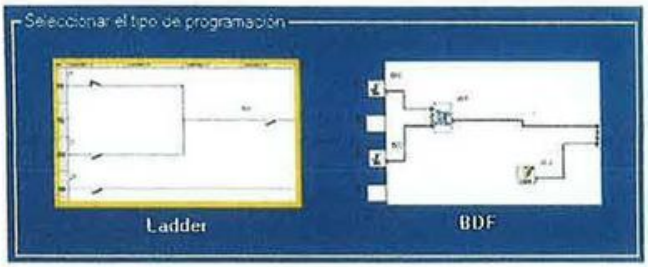


Figura 11.40. *Pantalla de selección del lenguaje de programación.*

La interfaz de usuario del *software* de programación de Zelio Soft consta de las siguientes partes:

- **Barra de menús.** Está situada en la parte superior. En ella se encuentran los comandos para la elaboración, configuración y transferencia de programas.

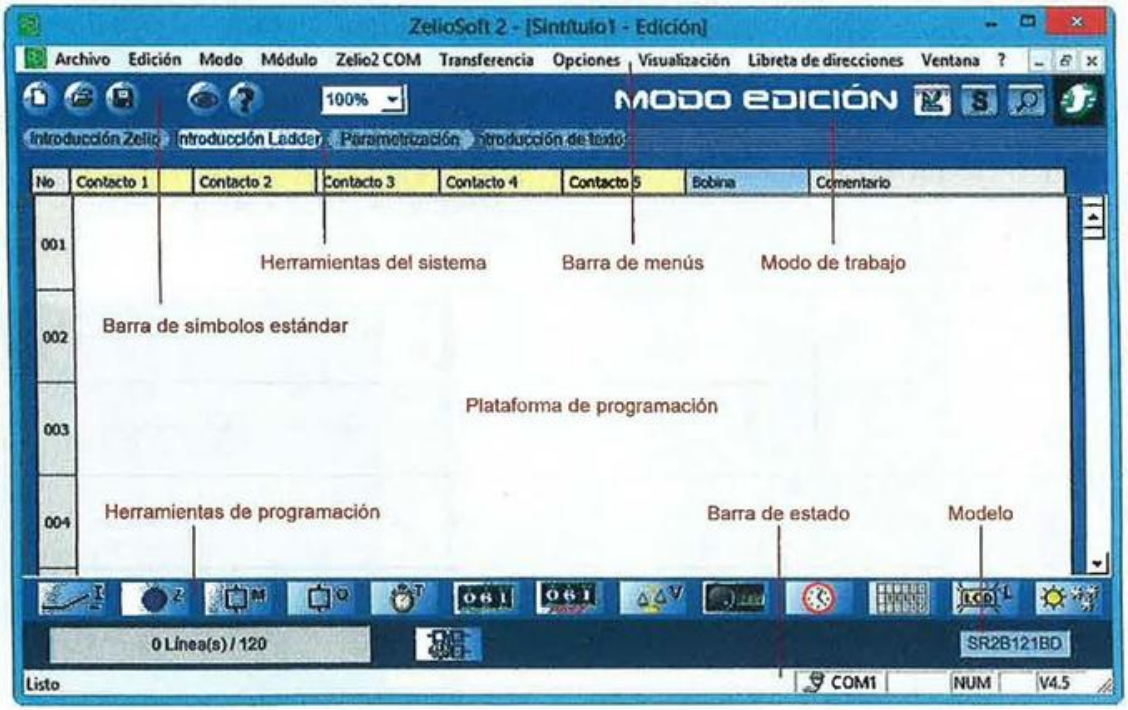


Figura 11.41. *Pantalla de programación.*

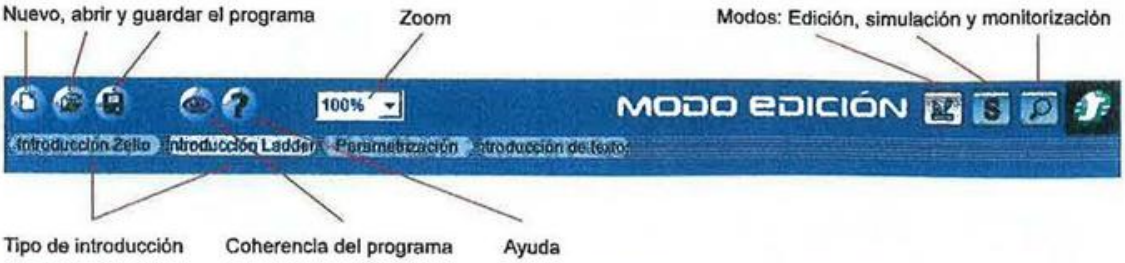


Figura 11.42. *Barra de símbolos estándar.*

- **Barra de símbolos estándar.** Contiene los botones de comandos de uso general, tales como: crear, cargar y guardar el programa.
- **Herramientas del sistema.** Por medio de ellos se indica el modo de introducción del programa.
- **Modos de trabajo.** El Zelio dispone de tres modos de trabajo: edición, simulación y monitorización.
- **Plataforma de programación.** Sobre esta superficie se desarrolla el programa. Está dividida en filas y columnas.
- **Herramientas de programación.** Contiene los elementos mediante los cuales se lleva a cabo la programación: entradas, salidas, temporizadores, etc.
- **Barra de estado.** Proporciona información adicional, tal como el nivel de zoom, la situación de un programa o la actividad.

SABÍAS QUE

El *software* de programación es capaz de detectar la coherencia del programa y si tiene algún error, tal como algún elemento sin conectar, etc., lo indicará mediante un icono en la barra de símbolos.

11.3.6. Las herramientas de programación

La barra de herramientas de programación es la más útil y empleada durante la fase de realización del programa. Está situada en la parte inferior y debajo de la plataforma de programación. Ella contiene los diversos recursos que se emplean. Esta barra se adapta al modelo de Zelio que se emplea, así no aparecerán aquellos recursos de los que el Zelio carezca, por ejemplo: cierto número de entradas o salidas, temporizadores rápidos, display, etc.

SABÍAS QUE

El tamaño máximo de un programa con el Zelio es de 120 líneas. En la barra de herramientas de la parte inferior puedes saber cuántas llevas utilizadas.

Las entradas

Las entradas digitales se utilizan exclusivamente como un contacto en el programa. Este contacto representa el estado de la entrada del módulo lógico conectado a un captador (botón pulsador, interruptor, detector, etc.).

Figura 11.43. *Herramientas de programación.*

El contacto puede ser abierto o cerrado. Para los contactos abiertos, su símbolo será una "I" con el número correspondiente al orden del módulo. Para el caso de los contactos cerrados, su símbolo será "i" con el número correspondiente.

Figura 11.44. *Entradas.*

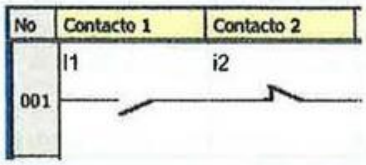


Figura 11.45. *Símbolo eléctrico.*

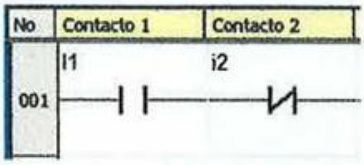


Figura 11.46. *Símbolo* ladder.

La visualización de los contactos se puede llevar a cabo de dos maneras: símbolo eléctrico (se asemeja a la simbología eléctrica empleada en lógica cableada) y símbolo *ladder* (es la más empleada por la mayoría de los autómatas). Para cambiar su modo de representación hay que ir al menú de visualización y ahí escoger la deseada.

Las teclas de navegación

Las teclas de navegación o cursores son aquellas que están situadas en el frontal del Zelio. Se dispone de cuatro teclas o botones y su comportamiento es idéntico a las entradas digitales.

Se identifican con la letra Z y si sus contactos son normalmente abiertos estos se nombran en mayúscula (Z) y si son normalmente cerrados se nombran en minúscula (z).

Figura 11.47. *Teclas de navegación.*

Las salidas

Las salidas digitales corresponden a los relés de salida del propio Zelio y sobre estas se conectan los diferentes actuadores que se empleen en la instalación.

Van etiquetados con la letra Q seguida del número de orden.

Estas salidas se pueden utilizar en la parte de la bobina o en la parte de los contactos. Si son contactos normalmente abiertos, estos se nombrarán en mayúscula (Q) y si son cerrados se nombrarán en minúscula (q).

Figura 11.48. *Salidas.*

Existen cuatro tipos de bobinas para las salidas:

- Tipo **conector**. Si reciben señal se activan y se desactivan cuando esta desaparece. Se comportan igual que un relé o contactor.
- Tipo **telerruptor**. Funcionan a impulsos. Con un impulso se activa y con otro se desactiva.
- Tipo **Set**. Con un impulso se activa la bobina y permanece en ese estado aunque desaparezca la señal.
- Tipo **Reset**. Con un impulso de desactiva la bobina. La bobina Reset tiene prioridad sobre la Set.

RECUERDA

Si se emplea una bobina de tipo Set, se debe emplear otra bobina tipo Reset para poder desactivarla.

Los relés auxiliares o marcas

Son idénticos a las salidas digitales pero no tienen una salida física del Zelio. Se identifican con la letra M. Constan de dos partes: la bobina (que también puede ser de tipo conector, telerruptor, Set o Reset) y los contactos.

Los temporizadores

Los temporizadores se encargan de realizar tareas de control respecto a la variable tiempo. Permiten retardar, prolongar y activar acciones con un tiempo configurable.

Se denominan por la letra T seguida del número de orden. El número de temporizadores depende del modelo. En un módulo con 16 temporizadores, estos van desde el T1 hasta el TG (el número 10 corresponde a la letra A, así el décimo será TA).

Figura 11.49. *Temporizadores.*

Constan de dos partes: la bobina y los contactos. La bobina se compone de dos entradas:

- **Activación.** Se identifica por la letra T. Permite activar el temporizador.
- **Reset.** Se identifica por la letra R. Cuando se aplica una señal a esta entrada el temporizador se reinicia.

Existen varios modos de funcionamiento junto con una serie de parámetros para configurar los temporizadores. Para ello, una vez colocado el temporizador sobre la plataforma de programación, o se hace doble *clic* o con el botón derecho del ratón se entra en la ventana *Parámetros* (Figura 11.50).

Figura 11.50. *Tipos de temporizadores.*

Los parámetros necesarios son:

- Tipo o función de temporizador. Indica cuál es el modo de funcionamiento.
- Duración.
- Unidad de medida o base de tiempos.
- Remanencia.
- Bloqueo.

El tiempo de funcionamiento depende de la duración marcada y de la unidad de medida.

La remanencia permite conservar el valor de tiempo transcurrido como protección ante un corte de corriente. Así, si está activada esta casilla, el tiempo transcurrido se memoriza y no se pierde.

El bloqueo, si está activado, impide que se puedan modificar los parámetros.

Tabla 11.8. Tipos de funciones de los temporizadores.

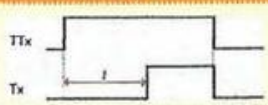
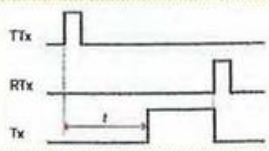
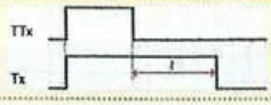
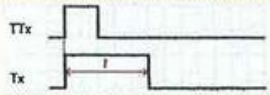
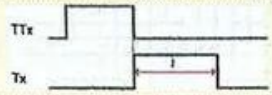
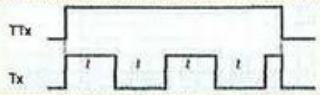
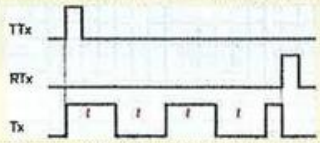
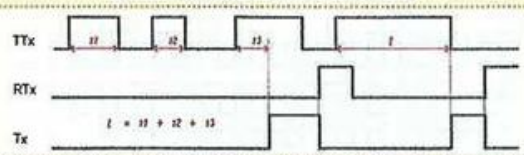
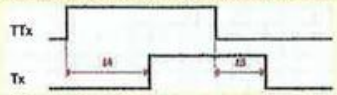
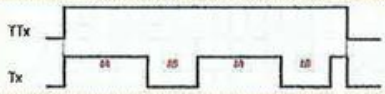
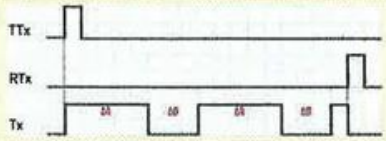
Función	Cronograma	Descripción
A		Trabajo, comando mantenido. Retardo a la conexión.
a		Trabajo, salida/parada por impulsos. Retardo a la conexión.

Tabla 11.8. Tipos de funciones de los temporizadores *(continuación)*.

Función	Cronograma	Descripción
C		Reposo. Retardo a la desconexión.
B		Cambio, activación comando. Activación temporizada.
W		Cambio, desactivación comando.
D		Luz intermitente, comando mantenido síncrono.
d		Luz intermitente, salida/parada por impulsos.
T		Totalizador trabajo.
AC		A/C. Temporización a la conexión y desconexión.
L		Luz intermitente, comando mantenido asíncrono.
I		Luz intermitente, salida y parada por impulsos.

Actividad resuelta 11.4

Se desea, que al accionar un pulsador (I1) se encienda una lámpara (conectada a la salida Q1) durante 5 segundos.

La función del temporizador a emplear es la función B, con una duración de 5 segundos.

Solución:

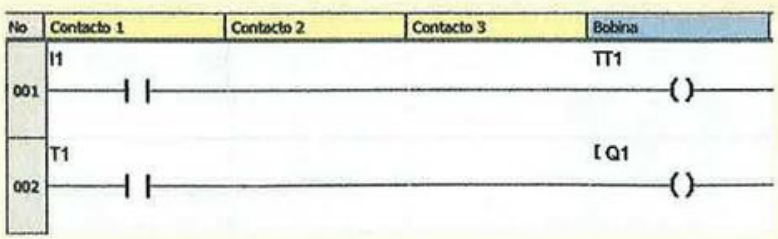


Figura 11.51. *Ejemplo de empleo de temporizadores.*

Contadores

La función de los contadores es la de contar los impulsos que le llegan a una de las entradas.

El modo en el cual realiza la cuenta puede ser de modo ascendente (cuenta progresiva) o descendente (cuenta regresiva).

Los contadores se identifican por la letra C seguida del número de orden.

Los contadores disponen de dos partes: los contactos y la parte de la bobina.

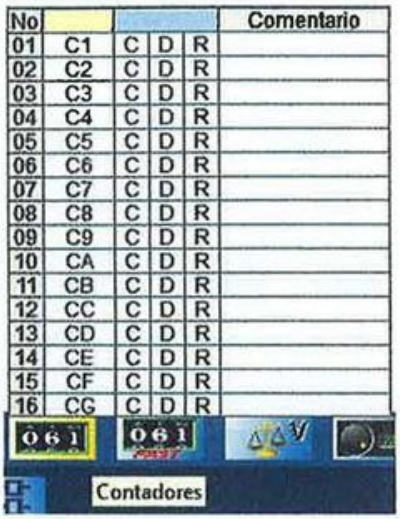


Figura 11.52. *Contadores.*

La parte de la bobina dispone de tres entradas:

- **Entrada de impulsos a contar (C).**
- **Modo de cuenta (D).** Si a la entrada tiene un "0" la cuenta se realiza en modo progresivo y si tiene un "1" la cuenta se realiza en modo regresivo. Si no se especifica nada, es decir si esa entrada no se emplea, el Zelio por defecto realiza la cuenta de modo progresivo o ascendente.
- **Reset (R).** Al activar esa entrada el contador vuelve a su estado inicial.

Mediante el contacto asociado al contador es posible:

- En cuenta progresiva o ascendente, conocer cuándo la cuenta ha llegado al valor determinado (es configurable).
- En cuenta regresiva o descendente, conocer cuándo la cuenta ha llegado a cero desde un valor determinado.

La pantalla de configuración de los parámetros contiene:

- **Impulsos.** Es el valor de preselección.
- **Salida ON.** Según sea cuenta progresiva o regresiva, es decir que se llegue al valor de preselección o al valor cero.
- **Remanencia.** Memoriza la cuenta en caso de desconexión eléctrica.
- **Bloqueo.** Impide la modificación.

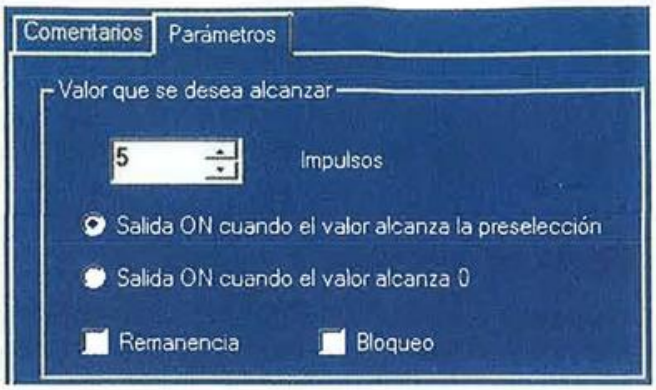


Figura 11.53. *Configuración de los contadores.*

Según el modelo de Zelio, este puede disponer de dos tipos de contadores: contadores y contadores rápidos. Los contadores rápidos tienen una mayor capacidad de poder realizar cuenta de entrada de pulsos de alta frecuencia (hasta 1 kHz). Este tipo de contador de define por la letra K.

Actividad resuelta 11.5

Se desea, que al accionar cinco veces un pulsador (I1) se active una salida (Q1). Se debe poder realizar la cuenta tanto en modo ascendente como en modo descendente (I2) y en cualquier momento se puede reiniciar el contador (I3).

Solución:

La configuración de parámetros es:

- Número de impulsos = 5.
- Salida On: al alcanzar la preselección.

Al contador C1 se le conectan las tres entradas:

- I1: entrada de impulsos a contar.
- I2: modo de cuenta, si es abierto la cuenta se realiza de modo ascendente hasta la preselección. Si es cerrado la cuenta se realiza en modo descendente.
- I3: al activarse inicializa el contador poniéndolo a cero.

Con el contacto de C1 al llegar a la cuenta determinada se cerrará activando la salida Q1.

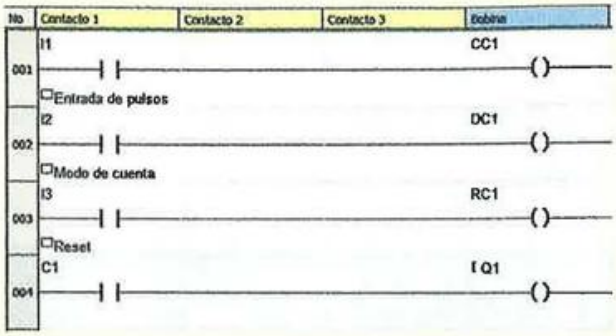


Figura 11.54. *Ejemplo de empleo de contadores.*

Los comparadores de contadores

La función de comparador de contadores es la de permitir comparar la cuenta de un contador con otro contador o con una constante.

Se denominan por la letra V seguida del número de orden.

El comparador de contadores se emplea como un contacto y al cumplir con las condiciones de comparación prefijadas se activa. Este contacto puede ser normalmente abierto (V) o normalmente cerrado (v).

Figura 11.55. *Comparadores.*

Figura 11.56. *Configuración del comparador.*

En la pantalla de parámetros se fijan los dos parámetros a comparar: Cx y Cy. Estos pueden hacer referencia a contadores o a una constante. Además, se puede añadir un *offset* o desplazamiento al contador a comparar o bien se fija un valor si es una constante.

También se debe fijar el criterio de comparación: mayor, mayor o igual, igual, distinto, menor o igual y menor.

En el ejemplo de la Figura 11.56, se parametriza el comparador de tal manera que el contacto asociado a este comparador se activará cuando la cuenta del contador C1 sea igual o superior a 5.

Se pueden combinar varios comparadores de contadores en una misma línea de instrucciones (Figura 11.57).

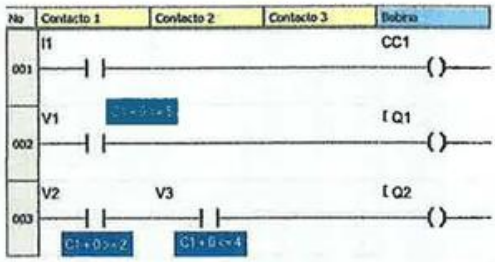


Figura 11.57. *Ejemplo de empleo de contadores.*

Existe una función similar para trabajar con datos analógicos, el **comparador analógico**. Se identifica con la letra A seguida del número de orden.

El reloj

El reloj o programador horario se emplea para realizar acciones en función de la hora y del día de la semana. Se emplean como contacto. Disponen de cuatro canales que se pueden programar de manera independiente. En cada canal se marca el día y la hora de conexión (*on*) y desconexión (*off*).

En la parte inferior del configurador de los parámetros del reloj, se muestra una vista general donde aparecen todos los días de la semana junto con las horas diarias. Por medio de unas franjas de color se visualizan los rangos de trabajo.

Figura 11.58. *Reloj.*

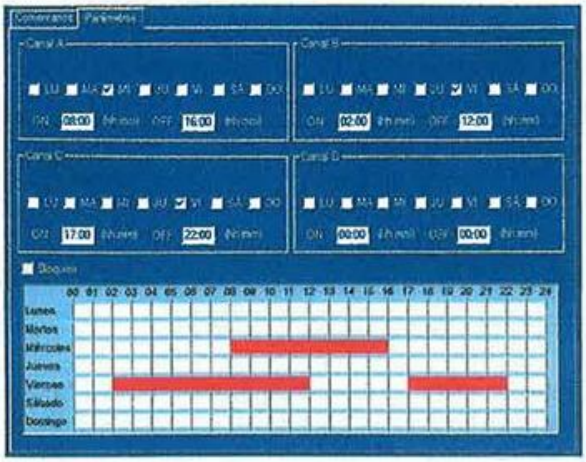


Figura 11.59. *Configuración del reloj.*

Bloques de texto

La función de bloques de textos solo está disponible en los módulos que disponen de display. Permite mostrar textos y valores sobre la pantalla.

Los bloques de texto se emplean como bobinas. Se identifican por las letras TX.

En cada bloque de texto se pueden mostrar hasta cuatro líneas de información o datos. Y se pueden disponer hasta 16 bloques de texto, de TX1 a TXG.

No			Comentario
01	TX1	RX1	
02	TX2	RX2	
03	TX3	RX3	
04	TX4	RX4	
05	TX5	RX5	
06	TX6	RX6	
07	TX7	RX7	
08	TX8	RX8	
09	TX9	RX9	
10	TXA	RXA	
11	TXB	RXB	
12	TXC	RXC	
13	TXD	RXD	
14	TXE	RXE	
15	TXF	RXF	
16	TXG	RXG	

Bloques textos

Figura 11.60. *Textos.*

Retroiluminación LCD

Esta función de retroiluminación de la pantalla LCD solo está disponible en los modelos con display. Permite asegurar la iluminación.

Se representa por las letras TL y solo se necesita una función.

No		Comentario
01	TL1	

Retroiluminación LCD

Figura 11.61. *Retroiluminación.*

Cambio de horario verano/invierno

El cambio de horario se emplea como contacto y sólo está disponible una única función.

En la franja horaria de invierno está en estado de paro, pasando a estado de marcha durante el verano.

No		Comentario
01	W1	

Verano invierno

Figura 11.62. *Verano/invierno.*

11.3.7. La realización de un programa

Para comparar la forma de realizar un programa con el lenguaje de diagrama de bloques de funciones respecto al lenguaje de contactos se va a volver a resolver el mismo ejemplo, tal y como se muestra en la Figura 11.63.

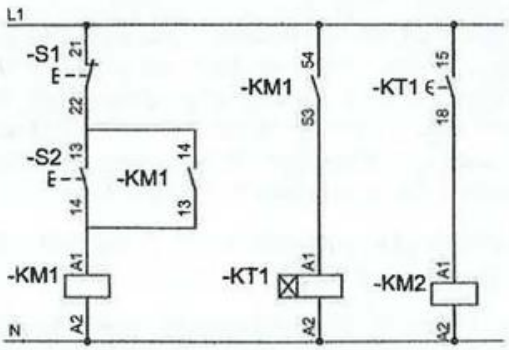


Figura 11.63. *Esquema eléctrico.*

El circuito de este ejemplo consiste en el control de un contactor KM1 que es gobernado mediante una botonera marcha-paro. Este contactor activa un temporizador a la conexión, el cual transcurrido el tiempo prefijado, activa un segundo contactor (KM2).

Tabla 11.9. Lista de referencias.

Elemento	Desig. Zelio	Descripción
S1	I1	Pulsador de paro
S2	I2	Pulsador de marcha
KM1	Q1	Motor 1
KM2	Q2	Motor 2
KT1	T1	Temporizador

Con los datos de los elementos de entradas y salidas se elabora la tabla de referencias donde se asigna cada elemento a las entradas y salidas físicas del Zelio (Tabla 11.9).

Con estos datos, se obtienen las funciones lógicas para cada receptor:

$$Q1 = (\overline{I1}) \times (I2 + Q1)$$

$$T1 = Q1$$

$$Q2 = T1$$

Ahora ya se puede empezar a realizar el programa, para ello arrancamos el *software* Zelio Soft. Comenzamos con un nuevo programa y se elige el módulo de Zelio que cumpla con los requisitos mínimos, que en este caso se va a necesitar que tenga más de dos entradas digitales y más de dos salidas digitales. Se elige, por ejemplo, el módulo SR2B121FU (ocho entradas y cuatro salidas, con display, alimentación a 230 V, sin expansión). Y se escoge la programación en lenguaje *ladder*.

Empezamos con las entradas. Se accede a ellas y se comentan. Los comentarios son importantes puesto que ayudan a comprender y mantener el programa. Para ello nos situamos encima de las entradas digitales y se desplegará una ventana, a continuación nos situamos sobre la zona de los comentarios de cada entrada y se escribe.

Con las salidas se procede igual y se añaden los comentarios para poderlas identificar correctamente.

Para insertar la entrada, nos situados sobre ella en la parte del contacto (en el menú desplegable de las entradas aparecen tres columnas: el número de orden, el contacto de la entrada y el comentario) y la marcamos y arrastramos con el ratón, soltándolas sobre la casilla de destino (Figura 11.64).

Al poner cualquier contacto sobre la plataforma de programación siempre la coloca en formato de normalmente abierto y si se desea un contacto normalmente cerrado se pincha con el botón derecho del ratón y se cambia.

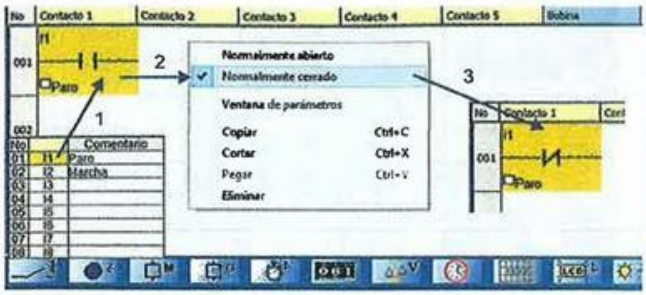


Figura 11.64. *Colocación y configuración de las entradas.*

Para las salidas se procede de similar manera. Se ponen los comentarios pero para la parte de la bobina hay que tener en cuenta que tiene cuatro formatos: **conector, telerruptor, Set y Reset**. Para este caso se desea que sea de tipo conector. Se marca y se arrastra hasta la columna de las bobinas (Figura 11.65).

RECUERDA

Si se intenta poner un contacto en la zona de la bobina y viceversa, el programa no lo permitirá, apareciendo el símbolo de prohibido.

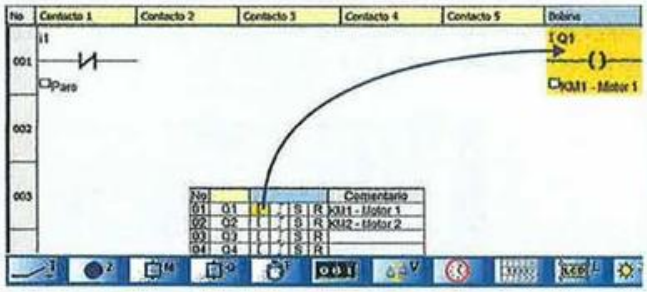


Figura 11.65. *Colocación de las salidas.*

Para realizar el conexionado eléctrico, simplemente se hace clic con el ratón sobre la línea discontinua (Figura 11.66, círculos rojos).

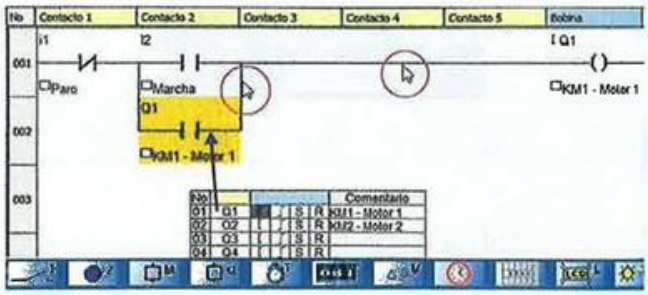


Figura 11.66. *Colocación de las conexiones eléctricas y del contacto de una bobina.*

Las salidas tienen dos partes: contacto y bobina. Para realizar la realimentación de Q1 se emplean ambas partes. El contacto de la salida (Q1) se coloca en paralelo con el pulsador normalmente abierto (Figura 11.66).

Para colocar el temporizador se procede de igual manera. Como es un temporizador a la conexión, el tipo a emplear es el de *función A* con un tiempo de 3 segundos. Este temporizador activará al segundo contactor, por ello se emplea un contacto abierto de este.

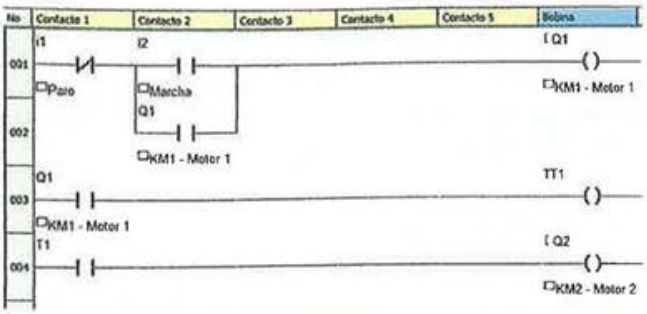


Figura 11.67. *Programa.*

Actividad resuelta 11.6

Un sistema de extracción y renovación de aire compuesto por un ventilador se pone en marcha de forma manual mediante un interruptor (I1) o bien de forma automática cuando un sensor (I2) detecte la mala calidad del aire y una ventana de la sala no esté abierta (final de carrera I3). Resuélvelo mediante bobinas tipo Conector.

Solución:

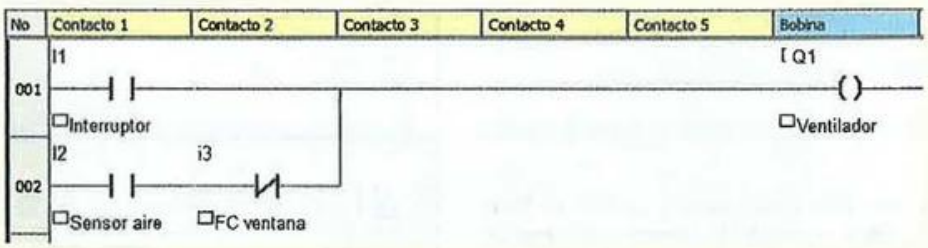


Figura 11.68. *Programa.*

Actividad resuelta 11.7

Se desea controlar un motor mediante un pulsador de marcha y uno de paro. Resuélvelo mediante bobinas de tipo Set y Reset.

Solución:

En este caso tanto el pulsador de marcha como el de paro son de contacto normalmente abierto. Mediante el pulsador de marcha se enclava la salida Q1 y con el de paro se desenclava. En caso de estar ambos pulsadores activados tiene prioridad el de paro sobre el de marcha.

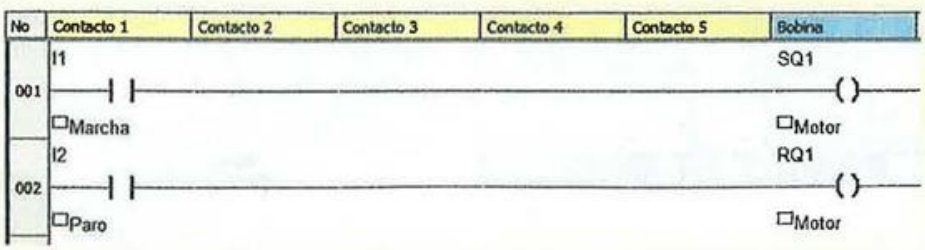


Figura 11.69. *Programa.*

11.3.8. La simulación

Una vez terminado el programa, es la hora de simular su funcionamiento para poder comprobar que responde correctamente según las necesidades.

El Zelio Soft cuenta con los modos de edición, simulación y monitorización.

Figura 11.70. *Modo edición.*

Figura 11.71. *Modo simulación.*

Para acceder a la simulación, se debe cambiar de modo de trabajo.

El modo de simulación posee cuatro acciones: **Run** (puesta en marcha), **Stop** (paro de la simulación), **Pausa** (realiza una pausa y permite continuar con la simulación) y **Corte de alimentación** (se simula un corte en el suministro eléctrico al autómata).

Cada vez que se accede al modo de simulación, se parte de la situación de *Parada* o *Stop*. Por ello lo primero es poner en marcha la simulación pulsando sobre el icono *Run* (Figura 11.71).

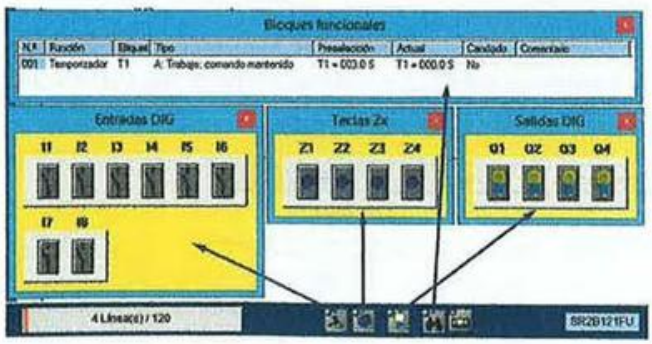


Figura 11.72. *Herramientas de supervisión.*

El modo de simulación cuenta con unas ventanas para poder mostrar y manipular los siguientes elementos: entradas, salidas y teclas de navegación. También cuenta con un panel para mostrar cómo están funcionando los diversos bloques de funciones (temporizadores, contadores, etc.).

Una vez arrancada la simulación, el cableado eléctrico situado sobre el panel de operación cambia de color. Aquellas partes sometidas a tensión aparecen en color rojo y en ausencia de tensión aparecen en color azul. Además, en los paneles de visualización de las entradas y salidas, estas cambian de color en función de su estado. En el panel de las entradas, estas se pueden manipular para interactuar en la simulación. Así, en la línea 001 del programa al accionar I2 (marcha) se activa la bobina del contactor KM1 que está en la salida Q1, por eso está coloreada en rojo. Sin embargo, la salida Q2 está en ese momento desactivada (línea 004) y por ello aparece coloreada de azul.

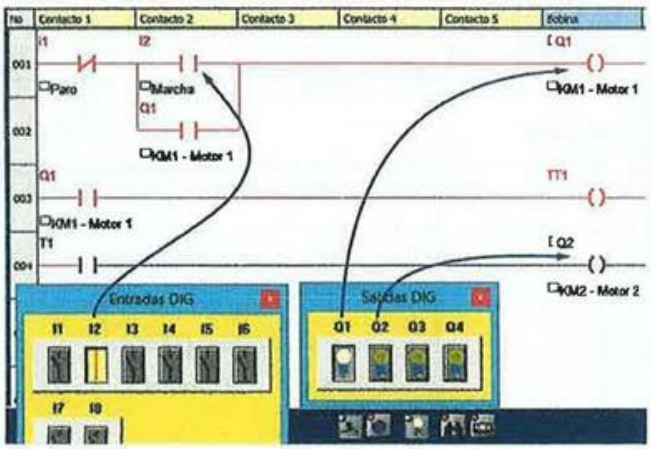


Figura 11.73. *Simulación del programa.*

En caso de tener que modificar alguna parte del programa, se puede pasar al modo de edición en cualquier momento.

11.3.9. La transferencia del programa

Una vez terminado y verificado el programa con el simulador, es el momento de realizar la transferencia al Zelio. Lo primero es conectar el cable de transferencia entre el ordenador y el propio Zelio. El conector en el autómata se encuentra en la parte frontal protegido por una tapa, que habrá de retirar previamente.

Figura 11.74. *Cable USB de transferencia.*

Para comenzar con la orden de transferencia, se debe volver al modo de edición, para así tener accesible el menú *Transferencia*. Desde allí se accede a *Transferir programa* y *PC > Módulo*.

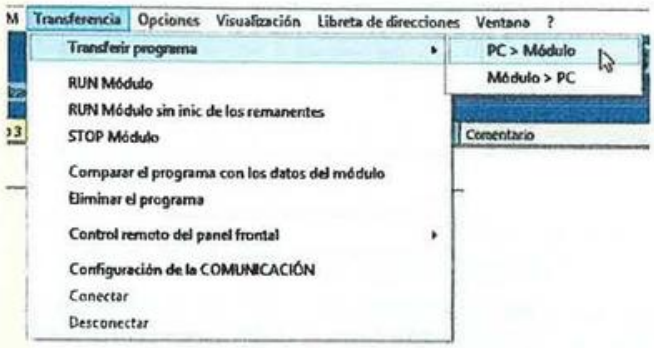


Figura 11.75. *Menú de transferencia.*

En el caso de realizar la programación para un módulo y llegado el momento de realizar la transferencia, se comprueba que el módulo a emplear es otro y se puede realizar el cambio.

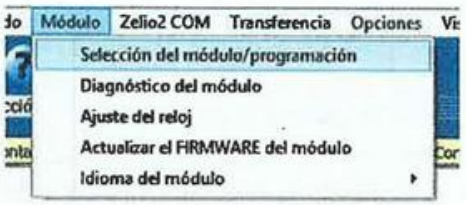


Figura 11.76. *Menú de selección de módulo.*

Si durante el cambio hay alguna incompatibilidad, se mostrará un mensaje. Por ejemplo, si se pasa de un modelo de 8 entradas a uno de 6 entradas, se avisará de la pérdida de esas 2 entradas de diferencia.

SABÍAS QUE

A la hora de realizar la transferencia del programa del ordenador hacia el autómata, es importante fijarse en el tipo de puerto de salida del ordenador. Los puertos de comunicaciones pueden ser del tipo serie (COM) que actualmente ya están obsoletos o del tipo USB. Existen cables de comunicaciones para ambos tipos de puertos.

11.3.10. El modo de monitorización

El modo de monitorización permite una comunicación entre el Zelio y el ordenador, mientras el Zelio está ejecutando un programa. De esta manera se permite su control en tiempo real, manipulando las entradas.

Para poder acceder a este modo de monitorización, el ordenador con el ZelioSoft debe estar ejecutándose y además ambos dispositivos deben estar conectados mediante el cable de programación.

Otro requisito es que tanto el Zelio físico como el módulo del *software* sean idénticos. En caso de que sean diferentes se debe cambiar y adaptar el módulo del *software*.

Una vez comunicados y en ejecución, es posible acceder a las entradas para poder forzarlas del mismo modo que se interactuaba en la fase de simulación.

Actividades de comprobación

11.1. Un relé programable es:

a) Un autómata de menores prestaciones.

b) Un autómata de altas prestaciones el cual lleva incluida su propia fuente de alimentación y un conjunto de entradas y salidas digitales.

c) Un conjunto de relés bajo una misma carcasa, cada uno de ellos con su propia bobina.

11.2. ¿En qué lenguaje se puede programar el Logo?

a) En diagrama de bloques de funciones.

b) En lenguaje de contactos.

c) En diagrama de bloques de funciones y lenguaje de contactos.

11.3. El Logo es un relé programable que:

a) Solo permite la ampliación de entradas y salidas.

b) Solo permite la ampliación de aquellas partes de las cuales no consta como por ejemplo un módulo de comunicación.

c) Permite la ampliación de varias partes incluso de aquellas de las que ya posee.

11.4. La alimentación eléctrica del Logo es de:

a) 230 V en corriente alterna.

b) 24 V en corriente continua.

c) Existen Logos de varios niveles de tensión.

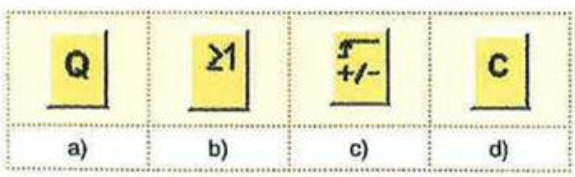
11.5. Si un Logo tiene una alimentación de 230 V_{CA}, las entradas:

a) Deben ser de 230 V y de la misma fase cada grupo de entradas.

b) Deben ser de 230 V y no importa la fase, solo el nivel de tensión.

c) Se pueden utilizar entradas de 24 V por ser una tensión inferior.

11.6. ¿Cuál de los siguientes bloques de funciones representa a un contador?



11.7. Si un relé programable Zelio tiene una alimentación a 24 V_{CC} y sus entradas son sensores también a la misma tensión, en sus salidas a relé, se podrán conectar:

a) Receptores de la misma tensión a 24 V_{CC}.

b) Receptores a una tensión de 230 V_{CA}.

c) Es independiente y por tanto se podrá conectar cualquier tipo de receptor.

11.8. Los temporizadores para el Zelio:

a) Hay tantos temporizadores como modos de funcionamiento.

b) Hay solo dos temporizadores: a la conexión y a la desconexión. Y se configuran para responder a niveles o por flancos.

c) Solo hay un temporizador y se configura para adaptar su modo de funcionamiento.

11.9. Un contador para el Zelio, se compone de las siguientes entradas:

a) Una entrada para los pulsos a contar más otra para indicarle el sentido de las cuentas.

b) Una entrada para las cuentas progresivas y otra entrada para las cuentas regresivas.

c) Solo una entrada para las cuentas. Hay un contador de modo progresivo y otro contador para el modo regresivo.

11.10. El modo de monitorización del Zelio se emplea para:

a) Realizar el programa.

b) Realizar la transferencia del programa desde el ordenador al propio Zelio.

c) Manipular y supervisar al Zelio cuando está en ejecución del programa.

11.11. Se necesita automatizar un proceso industrial el cual cuenta con los siguientes elementos: un pulsador de marcha y uno de paro, un motor trifásico que gira en ambos sentidos protegido mediante relé térmico, un final de carrera para cada sentido de giro, un piloto de señalización para cada sentido de giro y otro para el disparo por sobrecarga del motor. Con estos datos, selecciona un relé programable el cual disponga de, al menos, las siguientes características:

a) 6 entradas y 4 salidas.

b) 5 entradas y 4 salidas.

c) 5 entradas y 5 salidas.

ACTIVIDADES FINALES

Actividades de aplicación

11.1. Explica en qué casos es preferible el empleo de un relé programable frente a un autómata de alto nivel.

11.2. Comenta los diferentes tipos de Logos que hay comercialmente.

11.3. Indica las precauciones que se deben adoptar a la hora de realizar las conexiones de la alimentación eléctrica al Logo.

11.4. Indica las precauciones que se deben adoptar a la hora de realizar las conexiones respecto a las entradas en el Logo.

11.5. Indica las precauciones que se deben adoptar a la hora de realizar las conexiones respecto a las salidas en el Logo.

11.6. Describe brevemente de qué están compuestas las funciones básicas del LogoSoft.

11.7. Describe brevemente de qué están compuestas las funciones especiales del LogoSoft.

11.8. Comenta los diferentes tipos de Zelio que hay comercialmente.

11.9. Describe los modos de trabajo con los que cuenta el ZelioSoft.

11.10. ¿Qué función realizan las marcas?

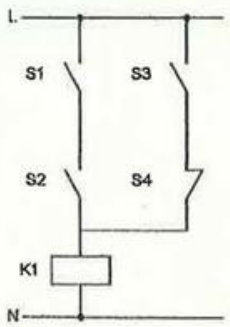
11.11. Describe el comportamiento que tienen las salidas en el ZelioSoft.

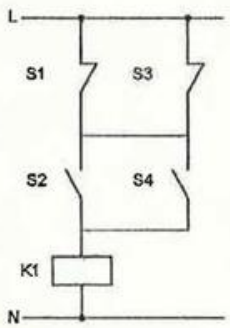
11.12. En el ZelioSoft existen dos temporizadores a la conexión o trabajo, la función A (mayúscula) y la función a (minúscula). ¿Qué diferencia hay entre ambas?

11.13. ¿Qué significa cada entrada de un contador?

Casos prácticos

11.1. Realiza mediante bloques funcionales el programa para los circuitos dados:





11.2. Realiza el automatismo para un arranque de un motor en el cual se emplee la realimentación. Resuélvelo mediante bloques funcionales.

11.3. Realiza el automatismo para el control de dos motores de tal manera que cumpla lo siguiente:

- Con un pulsador (I1) se pondrá en marcha un motor 1 (Q1).
- Con otro pulsador (I2) se pondrá en marcha el motor 2 (Q2) siempre que el M1 esté en marcha previamente.
- Con un pulsador (I4) se podrá parar el motor 2 (Q2).
- Con otro pulsador (I3) se podrá parar el motor 1 (Q1).

Resuélvelo mediante:

a) Bloques funcionales.

b) Lenguaje de contactos.

11.4. Un equipo de extracción de aire está compuesto por dos motores y tres sensores de detección de la calidad del aire (I1, I2, I3). Cuando se activa alguno de esos sensores, pone en marcha el primer motor (Q1), y cuando al menos dos de los sensores se activan ponen en marcha el segundo motor (Q2). Resuélvelo por:

a) Diagrama de bloques funcionales.

b) Lenguaje de contactos.

11.5. Un sistema de alarma está compuesto por:

- Un interruptor (I1) para activar la alarma.
- Dos sensores (I2, I3) de detección de aperturas de puertas/ventanas.
- Un sensor de movimiento (I4) en el interior de la casa.
- Una señalización luminosa (Q1).
- Una señalización acústica (sirena) (Q2).
- Cuando se detecte (estando activada la alarma) una apertura de puertas o ventanas, se activará la señalización luminosa.
- Cuando además de la apertura se detecte movimiento se activará la sirena.

Resuélvelo mediante:

a) Bloques funcionales.

b) Lenguaje de contactos.

11.6. Se desea automatizar una puerta corredera de un garaje. Se cuenta con un pulsador de apertura (I1) y dos finales de carrera para puerta cerrada (I2) y puerta abierta (I3). Una vez la puerta está abierta, se cierra automáticamente. Si se está cerrando la puerta y se pulsa su apertura, tendrá prioridad la apertura.

11.7. Modifica el ejercicio anterior de la puerta del garaje para que:

- Una vez la puerta está abierta, permanezca así durante 5 segundos antes de empezar a cerrarse.
- Se añada una fotocélula (I4) para abrir la puerta en caso de detectar un obstáculo.

Puesta en marcha, mantenimiento y resolución de averías

12

Las instalaciones eléctricas, y muy especialmente las instalaciones de automatismos industriales, se encuentran en constante evolución. Los nuevos equipos y sistemas cada vez más sofisticados y una normativa en constante revisión requieren que los técnicos encargados de la instalación, montaje y mantenimiento de este tipo de instalaciones dispongan de una serie de conocimientos y capacidades continuamente renovadas, que garanticen la calidad, seguridad y buen funcionamiento de los sistemas y procesos.

En esta unidad conoceremos las principales técnicas y equipos asociados a la instalación y posterior mantenimiento de las instalaciones de automatismos industriales.

Contenidos

- 12.1. Ejecución de las instalaciones eléctricas
- 12.2. Mantenimiento de las instalaciones eléctricas
- 12.3. Mantenimiento de las instalaciones de automatismos industriales
- 12.4. Resolución de averías en las instalaciones de automatismos industriales
- 12.5. Legalización y puesta en servicio de las instalaciones eléctricas industriales

Objetivos

- Definir los requisitos y competencias necesarias para llevar a cabo la ejecución, puesta en marcha y mantenimiento de las instalaciones de automatismos.
- Identificar y saber utilizar los equipos y herramientas que debe disponer un instalador electricista.
- Conocer los principales tipos de mantenimiento existentes.
- Definir las principales técnicas de mantenimiento y resolución de averías en las instalaciones de automatismos industriales.
- Dar a conocer el proceso de legalización y puesta en servicio de las instalaciones eléctricas industriales.

12.1. Ejecución de las instalaciones eléctricas

Las instalaciones de automatismos industriales estudiadas a lo largo del libro, se encuentran incluidas dentro del marco legal aplicable a las instalaciones eléctricas de baja tensión. A este respecto, la legislación vigente establece que el montaje y mantenimiento de los equipos y componentes que forman parte de una instalación eléctrica de baja tensión, así como la documentación técnica asociada y su posterior legalización, deben ser efectuadas por instaladores eléctricos autorizados y técnicos competentes, que deben acogerse y cumplir en todo momento las prescripciones indicadas en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), sus Instrucciones Técnicas Complementarias y las disposiciones legales propias de cada comunidad autónoma, provincia o municipio.

En cualquier caso, las labores de montaje y mantenimiento de las instalaciones eléctricas deben ejecutarse respetando en todo momento los criterios de calidad y asegurando que el sistema, sus componentes o las personas que interactúen con el mismo no sufran ningún daño. Antes de la puesta en marcha de una instalación eléctrica, así como durante su funcionamiento normal, se realizarán las medidas y comprobaciones de los parámetros pertinentes utilizando los instrumentos de medida y el *software* más oportuno en cada caso, y teniendo siempre en cuenta las características físicas y condiciones ambientales que afectan a la configuración y al desarrollo de los procesos.

Los operarios encargados de la puesta en marcha, mantenimiento y resolución de averías en instalaciones de automatismos industriales deben garantizar que todos los equipos y componentes incluidos en la instalación no provoquen durante su funcionamiento daños a personas o animales, molestias a terceros o menoscabos a los intereses generales.

12.1.1. Instalador autorizado y empresa autorizada en baja tensión

Para definir las prescripciones que definen y afectan a los instaladores y empresas autorizadas en baja tensión, es necesario tener en cuenta tanto el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión como las modificaciones introducidas por la Ley Ómnibus, aprobada por el Real Decreto 560/2010.

Los instaladores y mantenedores de instalaciones eléctricas en baja tensión se clasifican en dos categorías:

- **Categoría básica (IBTB):** los instaladores de esta categoría podrán realizar, mantener y reparar las instalaciones eléctricas para baja tensión en edificios, industrias, infraestructuras y, en general, todas las que no se reserven a la categoría especialista.
- **Categoría especialista (IBTE):** los instaladores y empresas instaladoras de la categoría especialista podrán realizar, mantener y reparar las instalaciones de la categoría básica y, además, las reservadas exclusivamente a esta categoría:
  - — Sistemas de automatización.
  - — Gestión técnica de la energía.
  - — Seguridad de edificios (sistemas de alarma y detección de incendios).
  - — Sistemas de control distribuido.
  - — Sistemas de supervisión, control y adquisición de datos.
  - — Control de procesos.
  - — Líneas aéreas o subterráneas para distribución de energía.
  - — Locales con riesgo de incendio o explosión.
  - — Quirófanos y salas de intervención.
  - — Lámparas de descarga en alta tensión, rótulos luminosos y similares.
  - — Instalaciones generadoras de baja tensión.

Figura 12.1. *Categorías de las empresas instaladoras en BT y AT.*

Instaladores autorizados en baja tensión

El instalador en baja tensión deberá desarrollar su actividad en el seno de una empresa instaladora habilitada. No obstante, para que una persona pueda ejercer como instalador autorizado deberá cumplir y poder acreditar una de las situaciones indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 12.1. Situaciones habilitantes para desarrollar una actividad como instalador eléctrico autorizado en baja tensión.

Disponer de un título universitario cuyo plan de estudios cubra las materias objeto del REBT 2002.
Disponer de un título de ciclo formativo de grado medio o superior cuyas competencias coincidan con las materias objeto del REBT 2002.
Disponer de un certificado de profesionalidad cuyo ámbito competencial coincida con las materias objeto del REBT 2002.
Tener reconocida una competencia profesional adquirida por experiencia laboral en las materias objeto del REBT 2002.

Empresas instaladoras en baja tensión

Las personas físicas o jurídicas que deseen establecerse como empresas instaladoras en baja tensión deberán cumplir los siguientes requisitos:

- Presentar ante el órgano competente de la **comunidad autónoma en la que deseen ejecutar los trabajos** una **declaración responsable** indicando:
  - — La categoría para la que van a desempeñar la actividad.
  - — Que disponen de la documentación exigida.
  - — Que se responsabilizan de que la ejecución de las instalaciones se efectuará de acuerdo con las normas y requisitos legales de aplicación.
- Disponer de la documentación que identifique a la empresa instaladora (**certificado de empresa instaladora** en vigor).
- Contar con los medios técnicos y humanos mínimos necesarios para realizar sus actividades en condiciones de seguridad.
- Haber suscrito un **seguro de responsabilidad civil** profesional que cubra los daños que puedan provocar en la prestación del servicio. Las cuantías de dicho seguro dependerán de la categoría de trabajo escogida:
  - — Cuantía mínima de 600.000 euros para la categoría básica.
  - — Cuantía mínima de 900.000 euros para la categoría especialista.

SABÍAS QUE

Los medios humanos mínimos requeridos para las empresas instaladoras autorizadas en baja tensión pasan por disponer de un instalador para las instalaciones de cada una de las respectivas categorías, o una misma persona si esta reúne los respectivos requisitos.

12.1.2. Obligaciones de los instaladores autorizados en baja tensión

Los instaladores autorizados en baja tensión, en sus respectivas categorías, están obligados a cumplir las siguientes disposiciones:

- **Ejecutar, modificar, ampliar, mantener** o **reparar** las instalaciones que les sean adjudicadas o confiadas, de conformidad con la normativa vigente y con la documentación de diseño de la instalación, utilizando, en su caso, materiales y equipos que sean conformes a la legislación que les sea aplicable.
- Efectuar las **pruebas y ensayos** reglamentarios que les sean atribuidos.
- Realizar las operaciones de **revisión y mantenimiento** que tengan encomendadas, en la forma y plazos previstos.
- Emitir los certificados de instalación o mantenimiento, en su caso.
- Coordinar, en su caso, con la empresa suministradora y con los usuarios las operaciones que impliquen interrupción del suministro.
- Notificar a la administración competente los posibles incumplimientos reglamentarios de materiales o instalaciones que observasen en el desempeño de su actividad. En caso de peligro manifiesto, darán cuenta inmediata de ello a los usuarios y, en su caso, a la empresa suministradora, y pondrán la circunstancia en conocimiento del órgano competente de la comunidad autónoma en el plazo máximo de 24 horas.
- Asistir a las inspecciones establecidas por el REBT, o las realizadas de oficio por la administración, si fuera requerido por el procedimiento.
- Mantener al día un **registro de las instalaciones ejecutadas o mantenidas**.
- Informar a la administración competente sobre los **accidentes** ocurridos en las instalaciones a su cargo.
- Conservar, a disposición de la administración, **copia de los contratos de mantenimiento** al menos durante los 5 años inmediatos posteriores a la finalización de los mismos.

SABÍAS QUE

El documento que acredita que una empresa está registrada como *instaladora autorizada en baja tensión* varía dependiendo de cada comunidad autónoma, lo que en ocasiones requiere que deba ser compulsado para que un instalador pueda ejercer su actividad en otra comunidad distinta.

12.1.3. Herramientas y equipamiento específico del instalador electricista autorizado

Los instaladores y mantenedores de las instalaciones eléctricas deben disponer del equipamiento mínimo necesario que les permita realizar el montaje y puesta en marcha del sistema, así como poder llevar a cabo las tareas de mantenimiento y resolución de averías.

Tabla 12.2. Herramientas que deben poseer en propiedad los instaladores electricistas (ITC-BT-03, REBT 2002).

Medios técnicos para la categoría básica	• Telurómetro, para realizar medidas de puesta a tierra. • Medidor de aislamiento. • Multímetro, para las siguientes magnitudes: — Tensión alterna y continua hasta 500 V. — Intensidad alterna y continua hasta 20 A. — Resistencia. • Medidor de corrientes de fuga, con resolución mejor o igual que 1 mA. • Detector de tensión. • Analizador/registrador de potencia y energía para corriente alterna trifásica, con capacidad de medida de las siguientes magnitudes: — Potencia activa. — Tensión alterna. — Intensidad alterna. — Factor de potencia. • Equipo verificador de la sensibilidad de disparo de los interruptores diferenciales, capaz de verificar la característica intensidad-tiempo. • Equipo verificador de la continuidad de conductores. • Medidor de resistencias de bucle, con fuente propia de energía, con sistema de medición independiente del valor de la resistencia de los cables de prueba y con una resolución mejor o igual que 0,1 Ω. • Luxómetro con rango de medida adecuado para el alumbrado de emergencia. • Herramientas comunes y equipo auxiliar.
Medios técnicos para la categoría especialista	• Todos los medios técnicos definidos para la categoría básica. • Analizador de redes, de armónicos y de perturbaciones de red. • Electrodos para la medida del aislamiento de los suelos. • Aparato comprobador del dispositivo de vigilancia del nivel de aislamiento de los quirófanos.

Las herramientas y equipos necesarios e indispensables para tener la certeza que todos los circuitos, aparamenta y equipos están instalados adecuadamente, asegurando la ausencia de averías y el correcto mantenimiento en un plazo largo de tiempo, se resumen a continuación:

Buscapolos y detectores de tensión

Un buscapolos, o *tester*, es un instrumento que permite verificar si un componente de la instalación eléctrica se encuentra en tensión. El bucapolos más común es el de tipo destornillador, con una pequeña lámpara que se enciende al detectar diferencia de potencial.

Para utilizar un buscapolos hay que hacer contacto con la punta metálica en el conductor a analizar. Si hay tensión se ilumina, si no hay tensión permanece apagado. Es muy frecuente utilizar estos equipos para diferenciar la fase del neutro en una toma de corriente, o para verificar si un cable determinado se encuentra en tensión.

Figura 12.2. *Buscapolos.*

RECUERDA

El conductor neutro, aunque sea un conductor activo, no debe tener tensión en condiciones normales, ya que si la tiene el sistema estará desequilibrado, lo que podría ser causa de sobretensiones y sobrecargas en el circuito eléctrico.

Un detector de tensión es un tipo de voltímetro muy sencillo y de bajo coste, con dos puntas que indican el valor de voltaje al conectarlas en un circuito. Esta medida puede ser exacta o aproximada, dependiendo del modelo de detector.

Figura 12.3. *Detector de tensión de medida aproximada.*

El multímetro

El multímetro, o polímetro, es un equipo portátil de medición que como mínimo será capaz de mostrar la intensidad de corriente, la tensión, la resistencia eléctrica y la continuidad eléctrica, mediante la correcta utilización de dos puntas de prueba. Algunos modelos más sofisticados también pueden realizar mediciones adicionales como frecuencia, comprobación de componentes electrónicos (transistores, diodos, condensadores), etc.

Figura 12.4. *Multímetro digital y puntas de prueba.*

Las mediciones pueden realizarse tanto en corriente continua como en corriente alterna y con varios **fondos de escala**. El parámetro de medición debe seleccionarse mediante una ruleta selectora, mientras que los fondos de escala se podrán seleccionar mediante ruleta selectora o botón de rango (*range*) dependiendo del fabricante. En los modelos más sofisticados la selección del fondo de escala la realiza el equipo de manera automática.

SABÍAS QUE

Si se desconoce el valor aproximado de la magnitud a medir **debe situarse el fondo de escala en el valor más elevado**, para evitar dañar el polímetro. Posteriormente se reduce poco a poco el fondo de escala hasta que en la pantalla se muestre un valor correcto.

Actividad propuesta 12.1

Observa la ruleta de selección de la Figura 12.5 y justifica cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera:

a) En esa posición podemos medir intensidad en corriente continua por encima de 20 miliamperios.

b) En esa posición podemos medir tensión en corriente alterna hasta un valor máximo de 2 voltios.

c) En esa posición podemos medir cualquier valor de tensión en corriente continua.

d) En esa posición podemos medir tensión en corriente continua hasta un valor máximo de 2 voltios.

Para realizar las mediciones también resulta fundamental la correcta **colocación de las puntas de prueba**. Una mala colocación de estas puntas o un error en la colocación de la ruleta de selección pueden romper el polímetro. Para evitar esto, los polímetros llevan incorporado un fusible en su interior.

En la página siguiente se muestra cómo conectar las puntas dependiendo de la magnitud a medir:

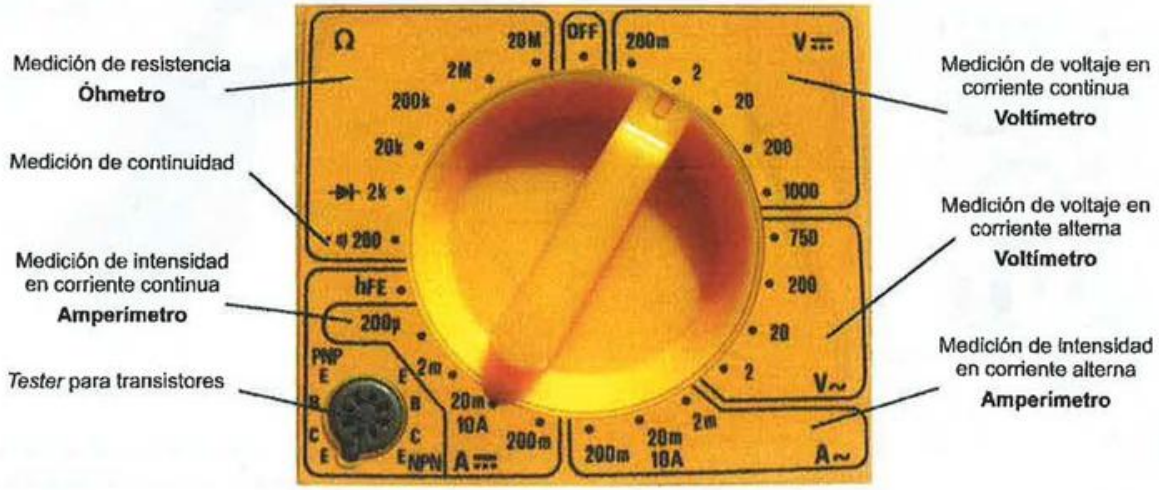


Figura 12.5. *Ruleta de selección.*

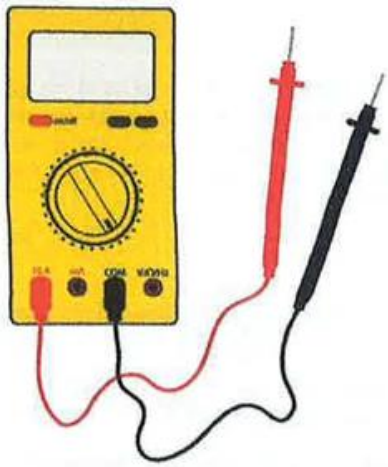


Figura 12.6. *Conexión para medir intensidad (amperios).*

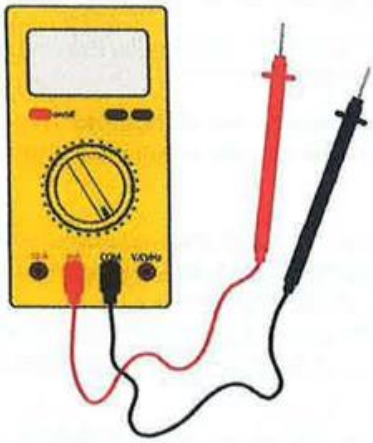


Figura 12.7. *Conexión para medir intensidad (miliamperios).*

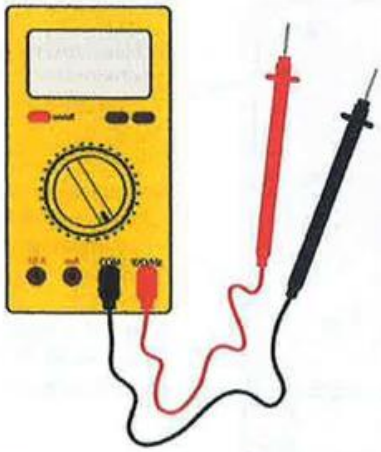


Figura 12.8. *Conexión para medir voltaje, resistencia, continuidad y frecuencia.*

Figura 12.9. *Ejemplo de uso del polímetro para realizar medidas de continuidad sobre los devanados de un motor trifásico.*

La pinza amperimétrica

Puesto que la conexión de un amperímetro se realiza en serie, si se desea medir la intensidad de un circuito eléctrico en funcionamiento mediante un polímetro o un amperímetro convencional, resultará necesario desconectar y abrir el circuito para intercalar el amperímetro y después volver a conectarlo. Esto supone un problema puesto que muchas veces no resulta posible dejar sin tensión una instalación eléctrica.

Para evitar esta situación puede utilizarse la **pinza o tenaza amperimétrica**, que permite medir la intensidad que circula por un conductor que pasa por su interior sin necesidad de entrar en contacto con él ni interrumpir el circuito, gracias a las propiedades de la corriente para generar campos magnéticos.

Figura 12.10. *Pinza amperimétrica integrada en un multímetro.*

Al utilizar una pinza amperimétrica es importante asegurarse de que **no pase por el interior de la pinza más de un conductor ni una manguera eléctrica**, puesto que la medida obtenida sería errónea.

El comprobador de instalaciones

Se trata de un completo equipo que permite comprobar el estado de la instalación eléctrica y de ciertos componentes de protección. Entre otras funciones, se utiliza para verificar la resistencia de puesta a tierra, tanto de bucle (tiene en cuenta todas las resistencias eléctricas en el circuito de tierra, y por tanto, este valor es más desfavorable, pero puede ser medido desde el cuadro eléctrico o una base de toma de corriente) como de resistencia de difusión a tierra (tiene en cuenta únicamente el elemento de puesta a tierra o de pica). También permite comprobar la sensibilidad y tiempo de disparo de los interruptores de corriente diferencial residual, el aislamiento de los conductores entre ellos y con respecto a tierra, continuidad, tensión, secuencia de fases, etc.

Figura 12.11. *Comprobador de instalaciones eléctricas.*

Al igual que ocurre con los multímetros, en estos dispositivos resulta necesario escoger, generalmente mediante una ruleta selectora, la magnitud a medir o verificar. La conexión de las puntas de prueba dependerá del modelo y del fabricante, por lo que será necesario consultar el manual de usuario del equipo.

A continuación, y a modo de ejemplo, se muestran las características asociadas al comprobador de instalaciones modelo 1654 del fabricante Fluke.

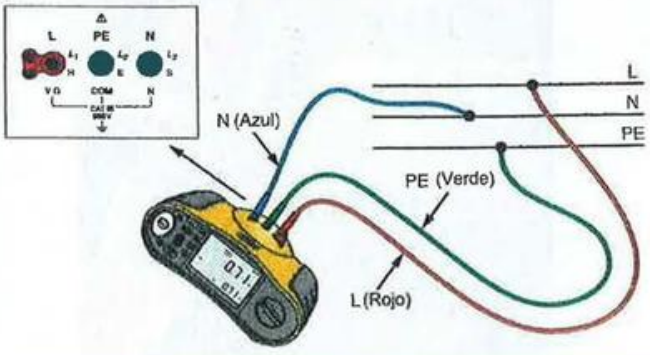
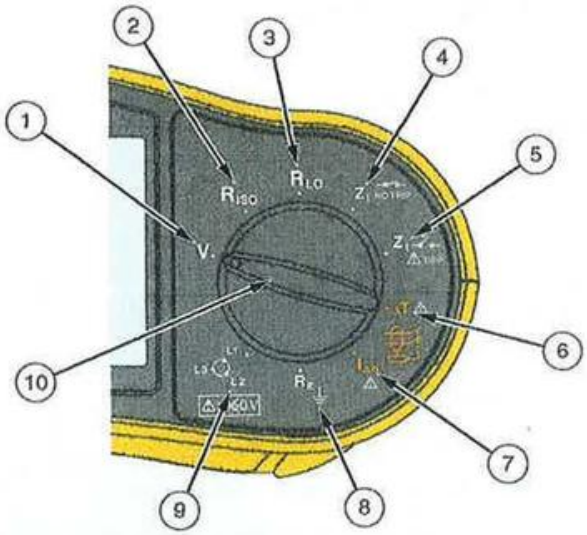
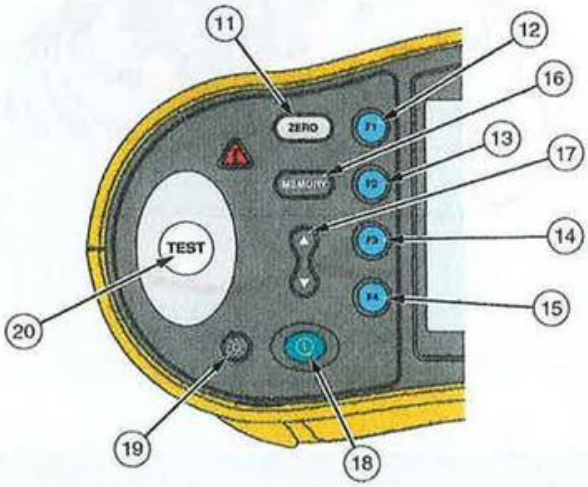


Figura 12.12. *Detalle de conexión de las puntas de prueba para la medición de impedancia de bucle en el comprobador de instalaciones Fluke 1654, ofrecido por el manual de usuario del fabricante.*



1) Medición de tensión (V).
2) Medición de la resistencia de aislamiento (MΩ).
3) Medición de continuidad (Ω).
4 y 5) Medición del valor de la impedancia de bucle (Ω).
6) Medición del tiempo de disparo de los interruptores diferenciales (ms).
7) Medición de la sensibilidad de disparo de los interruptores diferenciales (mA).
8) Medida directa del valor de puesta a tierra (Ω).
9) Comprobación de la secuencia de fases.
10) Ruleta selectora.

Figura 12.13. *Ruleta de selección de medidas del equipo comprobador de instalaciones Fluke 1654.*



11) Medición independiente del valor de resistencia de los cables de prueba.
12 a 15) Teclas de función, para configurar las mediciones, visualizar y borrar la memoria, etc.
16) Tecla de memoria.
17) Teclas de desplazamiento.
18) Botón de encendido/apagado.
19) Luz interna del display.
20) Tecla *TEST* para realizar las mediciones.

Figura 12.14. *Teclas de función del equipo comprobador de instalaciones Fluke 1654.*

El analizador de redes

Se trata de un equipo que permite verificar todos los parámetros y perturbaciones características de una instalación eléctrica, tales como:

- Intensidades de fase.
- Tensiones de fase.
- Tensiones de línea.
- Potencias activas de fase y potencia activa total.
- Potencias reactivas de fase y potencia reactiva total.
- Factor de potencia (cos φ).
- Diagramas fasoriales.
- Formas de onda de tensión e intensidad.
- Nivel de armónicos de tensión e intensidad.
- Tasa de distorsión armónica.
- Frecuencia de la red.

Figura 12.15. *Analizador de redes portátil. (Cortesía de Fluke.)*

RECUERDA

La energía activa es aquella que se consume por los equipos y es transformada en otro tipo de energía útil, mientras que la reactiva es propia de los equipos con inductancias y condensadores, de tal forma que la absorben para su funcionamiento, pero posteriormente la devuelven a la red. La energía reactiva es perjudicial porque obliga a disponer de secciones de conductor más grandes, por lo que resulta necesario compensarla y elevar el factor de potencia a un valor próximo a la unidad.

El luxómetro

Los luxómetros miden la **cantidad de luz o intensidad luminosa (lux)** presente en un determinado lugar. Son muy utilizados, por ejemplo, para comprobar la luz que emiten los puntos de alumbrado de emergencia y las luminarias de locales de pública concurrencia o para verificar la eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior.

Figura 12.16. *Luxómetro.*

La cámara termográfica

Las cámaras termográficas ofrecen una **imagen térmica** de la zona sobre la que se enfoquen. De esta manera, se pueden detectar sobrecalentamientos en equipos eléctricos, cuadros, conductores, bornes de unión o máquinas eléctricas, permitiendo descubrir una posible avería antes de que se produzca.

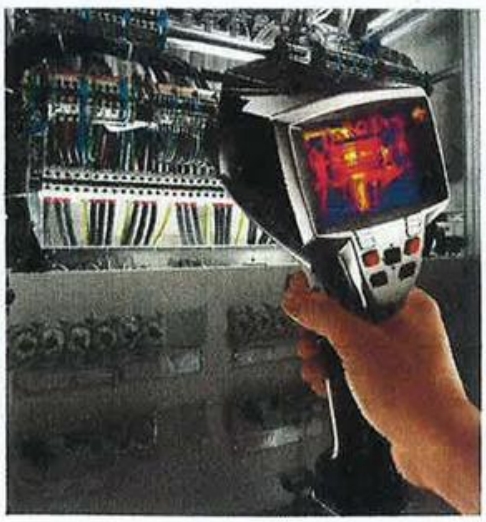


Figura 12.17. *Ejemplo de uso de una cámara termográfica.*

Disponer de una cámara termográfica solo es obligatorio para los instaladores eléctricos de alta tensión. En baja tensión, a pesar de no ser un equipo de medición indispensable, resulta muy útil para llevar a cabo las tareas de mantenimiento.

12.1.4. Equipamiento específico para el mantenimiento de máquinas rotativas industriales

En las instalaciones de automatismos industriales que alimentan a motores, el responsable del mantenimiento debe contar con un equipamiento específico enfocado a realizar labores de diagnóstico de las máquinas eléctricas rotativas, sin llevar a cabo su desmontaje.

Para realizar esta función específica, resultará necesario disponer de:

- Pinzas voltiamperimétricas.
- Medidor de continuidad.
- Medidor de aislamiento.
- Medidor de temperatura.
- Tacómetro (medidor de velocidad rotativa).
- Equipo de engrase.
- Juego de llaves mecánicas adecuadas, destornilladores y otras herramientas para la reparación de conexiones eléctricas.

12.2. Mantenimiento de las instalaciones eléctricas

El correcto funcionamiento de una instalación eléctrica puede verse afectado por el envejecimiento de los equipos, el uso indebido o malintencionado de las instalaciones, los defectos de montaje en la instalación inicial o por cambios posteriores que afecten a la configuración del sistema.

Las tareas de mantenimiento comprenden al conjunto de acciones de inspección, control, comprobación, revisión, clasificación o reparación que tienen como objetivo restaurar o conservar los equipos y materiales en las condiciones apropiadas para que puedan cumplir con normalidad las funciones que tienen asignadas.

SABÍAS QUE

El mantenimiento puede definirse como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible, buscando la total disponibilidad con el máximo rendimiento.

El adecuado mantenimiento de una instalación eléctrica resulta conveniente para lograr una gran fiabilidad y prevenir problemas de funcionamiento, lo que se hace especialmente relevante en las instalaciones industriales, ya que cualquier fallo eléctrico puede acarrear la parada, por ejemplo, de los procesos de producción, con el consiguiente perjuicio económico que ello conlleva.

La falta del mantenimiento en este tipo de instalaciones acarrea consecuencias negativas y problemas como el envejecimiento de los equipos, la reducción de su vida útil, el mal funcionamiento del conjunto del sistema, el incremento del número y la gravedad de las averías, etc.

12.2.1. Tipos de mantenimiento

Las labores de mantenimiento realizadas sobre cualquier tipo de instalación o sistema pueden ser básicamente de tres tipos:

Tabla 12.3. Tipos de mantenimiento.

Mantenimiento correctivo	Mantenimiento preventivo	Mantenimiento predictivo

Mantenimiento correctivo o no programado

Consiste en subsanar un defecto o **reparar una avería** en la instalación que ha sido detectado previamente. El mantenimiento correctivo se basa, por tanto, en reparar o sustituir aquellos elementos deteriorados o que presenten un funcionamiento inadecuado.

Todas las acciones realizadas durante el mantenimiento correctivo son registradas y deben coincidir con el parte de averías.

Figura 12.18. *Las sobrecargas en los circuitos eléctricos, así como los malos aprietes de tornillería, son una fuente de averías que generan el sobrecalentamiento y destrucción de los conductores.*

Mantenimiento preventivo o de estado

Consiste en prever las posibles averías en el sistema antes de que se produzcan mediante la programación de revisiones periódicas (**plan de mantenimiento**) en las que se realizan tareas de análisis, limpieza y calibración de los equipos así como todo tipo de medidas y comprobaciones de los parámetros de funcionamiento de la instalación, utilizando los instrumentos de medida y el *software* adecuado.

Con el mantenimiento preventivo se pueden determinar los puntos débiles de un sistema, optimizando su funcionamiento y la vida útil de los dispositivos que los componen. En determinadas instalaciones es obligatorio realizar un mantenimiento preventivo trimestral, semestral o anual con el objetivo de garantizar la fiabilidad de los equipos en funcionamiento. (Véase Figura 12.20.)

Figura 12.19. *Ejemplo práctico de la utilidad del mantenimiento preventivo. (Cortesía de Schneider.)*

Dentro del mantenimiento preventivo también se incluyen tareas como la modernización de los equipos y sistemas o la actualización y adecuación de las instalaciones obsoletas a las disposiciones legales actuales.

OPERACIONES Y COMPROBACIONES DE CARÁCTER GENERAL	
OPERACIONES A REALIZAR	**Correcto/ Incorrecto/ No aplica**
Revisión de terminales, limpieza de aquellos que lo precisen y apriete general de todos.	
Vigilar la aparición de óxido verdoso en los cables (cardenillo), originada por un apriete defectuoso.	
Apriete de tornillos de embarrado.	
Limpieza de fogueados de los contactos de todos los mecanismos.	
Comprobación de correcta identificación y etiquetado de las líneas.	
Comprobar correcta iluminación y correcta iluminación de emergencia.	
Comprobar presencia de elementos necesarios en cuadro general (banqueta aislante, extintor, documentación de aparamenta, esquema unifilar, señales de riesgo eléctrico, etc.).	
Comprobación de accesibilidad a los cuadros y armarios eléctricos.	
Comprobación de correcto cierre de puertas de los cuadros eléctricos.	
Comprobación y realización de test de fuga en diferenciales (correcto funcionamiento manual).	
Verificar que todas las partes metálicas de lugares húmedos están puestas a tierra (cocina, baños, vestuarios, bombas de achique, etc.).	
Comprobación de sistema de corte de climatización por disparo de *alarma* de central contra incendios.	
Comprobación de correcto funcionamiento de suministro secundario de reserva.	
Comprobación de correcto funcionamiento de conmutación automática.	
Comprobación de soportación de grupo electrógeno con funcionamiento de bomba eléctrica de protección contra incendios (PCI). Examinar deslastrado de cuadro si existiese.	

Figura 12.20. *Ejemplo de un plan de mantenimiento preventivo para instalaciones industriales.*

MEDICIONES Y COMPROBACIONES TÉCNICAS	
OPERACIONES A REALIZAR	**Correcto/ Incorrecto/ No aplica**
Medición de tierras en baja tensión (pica de tierra).	
Medición de tierras en baja tensión (impedancia de bucle de defecto).	
Medición del consumo por fase y tensiones comprobando que dicho valor coincide con los del analizador de red.	
Comprobar correcto equilibrio de fases. Medición de intensidad en neutro. Medición del nivel de THD por fase (%).	
Medición del consumo de todas las líneas secundarias. Relación porcentual respecto al amperaje del protector magnetotérmico.	
Termografía de cuadro general y secundarios.	
Comprobación de correcto factor de potencia de la instalación (diferencias del factor de potencia compensada y sin compensar).	

COMPROBACIÓN DE ALUMBRADO DE EMERGENCIA	
OPERACIONES A REALIZAR	**Correcto/ Incorrecto**
Comprobación de emergencias en cuadro general.	
Comprobación de emergencias en cuadros secundarios.	
Comprobación de emergencias en cambio de distinto nivel.	
Comprobación de emergencias en habitaciones.	
Comprobación de emergencias en elementos de protección contra incendios.	
Medición de lux en accionamiento de pulsador BIE, extintor, etc. (mínimo 5 lux).	
Comprobación de control telemando (si existe).	

COMENTARIOS Y OBSERVACIONES DEL TÉCNICO	
ELEMENTO	**OBSERVACIONES**
UBICACIÓN	**OBSERVACIONES**
CUADRO	**OBSERVACIONES**
EQUIPO/MÁQUINA/RECEPTOR	**OBSERVACIONES**

Figura 12.20. *Ejemplo de un plan de mantenimiento preventivo para instalaciones industriales* (continuación).

Mantenimiento predictivo

Consiste en realizar las intervenciones necesarias sobre los equipos y componentes con la finalidad de predecir el momento en el que se quedarán fuera de servicio o se producirá una avería.

Estas predicciones se basan en programas estadísticos de evolución y análisis de funcionamiento mediante ensayos no destructivos, utilizando los instrumentos de diagnóstico adecuados.

SABÍAS QUE

Análisis de lubricantes, mediciones de presión, temperatura, ruido, vibraciones o estudios de desgaste destacan entre las tareas de mantenimiento predictivo más comunes.

Las empresas de instalación y mantenimiento deberán disponer del servicio técnico adecuado y especializado que permita atender en todo momento las averías o fallos del sistema eléctrico (mantenimiento correctivo) y realizar las revisiones y comprobaciones necesarias correspondientes al mantenimiento preventivo.

Cabe destacar que las revisiones preventivas pueden ser realizadas directamente por las entidades titulares de las instalaciones cuando dispongan del personal con la cualificación requerida y de los medios técnicos necesarios.

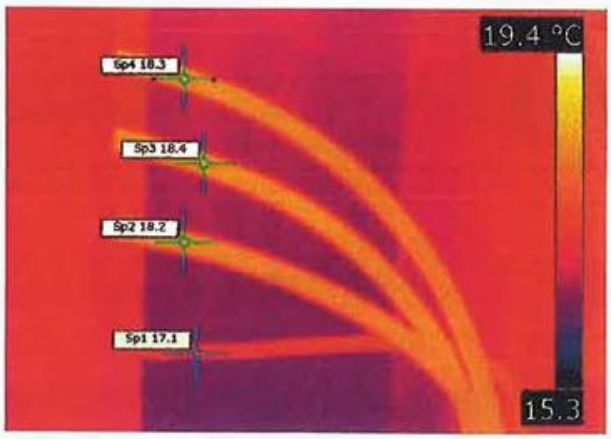


Figura 12.21. *La medición de temperatura de los conductores y conexiones mediante cámaras termográficas es una técnica habitual en las tareas de mantenimiento.*

En paralelo con la realización de las tareas relacionadas con el mantenimiento, es conveniente elaborar informes de las actividades desarrolladas y de los resultados obtenidos, inventarios técnicos, listados de trabajos periódicos, reportes de uso del sistema y partes históricos de averías en los que consten las deficiencias observadas y su fecha de subsanación.

Actividad propuesta 12.2

En la actualidad resulta posible llevar a cabo tareas de mantenimiento a distancia a través de una conexión remota. Es lo que se conoce como **telemantenimiento**.

Conociendo esto, responde a las siguientes cuestiones:

a) ¿Qué ventajas crees que puede ofrecer el telemantenimiento?

b) ¿En qué tipo de instalaciones de automatismos industriales podría resultar más útil?

c) ¿Qué equipos o sistemas de los estudiados a lo largo del libro crees que resultarían necesarios para poder dotar de un sistema de telemantenimiento a una instalación industrial?

12.2.2. El plan de mantenimiento

Los objetivos del mantenimiento se basan fundamentalmente en la optimización del funcionamiento de los sistemas eléctricos, obteniendo en consecuencia mayor seguridad y ahorro económico.

Es necesario llevar a cabo una inspección sistemática de todas las instalaciones, en intervalos de tiempo predefinidos y manteniendo los registros adecuados, para detectar a tiempo cualquier posible desgaste, rotura o sobrecalentamiento que pueda acarrear averías futuras, prolongando la vida útil de los equipos e instalaciones al máximo posible.

El **plan de mantenimiento** es un documento que define a un responsable de mantenimiento y los recursos asociados a esta actividad. En el plan de mantenimiento se incluye un inventario de infraestructuras, equipos y utensilios, se identifican los equipos críticos de la instalación y se definen los métodos de mantenimiento correctivo (cuyo objetivo será el de efectuar las reparaciones de emergencia lo más pronto posible, empleando métodos más fáciles de reparación), así como las tareas de mantenimiento preventivo, calibración y verificación que han de ser llevabas a cabo.

Las principales tareas de mantenimiento asociadas a las instalaciones eléctricas, y que deben ser incluidas y registradas en el correspondiente plan de mantenimiento, se exponen a continuación:

- Comprobación mensual de la instalación de puesta a tierra, tanto su valor óhmico como su buen estado de conservación.
- Verificar la adecuada rotulación de cuadros y circuitos eléctricos, así como el código de colores de los conductores.

Figura 12.22. *Detalle del marcado manual de colores de las mangueras cuando no cumplen el código establecido.*

- Verificar la existencia de etiquetas identificativas de riesgo eléctrico en los cuadros eléctricos.
- Comprobar la existencia de conexiones equipotenciales, cuando estas fueran requeridas, así como la continuidad de los conductores de protección.
- Verificar la existencia de medidas adecuadas de seguridad contra contactos indirectos.
- Comprobación mensual de los interruptores diferenciales (pulsador de test).
- Verificar el correcto nivel de aislamiento de la instalación y la inexistencia de riesgo de contactos directos.
- Contrastar la adecuada protección contra cortocircuitos y sobrecargas en los conductores en función de la intensidad máxima admisible en los mismos asociada a su sección.
- Contrastar que se respetan los límites de caída de tensión en los conductores.
- Verificar que los sistemas y máquinas trifásicas se encuentran equilibradas.
- Verificar que los materiales, aparatos o receptores se ajustan a las especificaciones vigentes.
- Revisar anualmente todos los circuitos y cuadros eléctricos de la instalación, comprobando su estado y corrigiendo las deficiencias detectadas. Se realizará una limpieza general del cuadro y el reapriete de las conexiones. En caso de modificar los circuitos eléctricos debe quedar reflejado en los esquemas eléctricos.

CUADRO: CUADRO GENERAL	**TIERRA DE BUCLE:** CORRECTO	**MEDIDA:** 2,04 Ω	**ROTULACION:** INCORRECTO
SITUACION: CUARTO CGBT - Semisótano	**TIERRA DE CHASIS:** CORRECTO	**MEDIDA:** 2,63 Ω	**PLACA DE RIESGO ELECTRICO:** INCORRECTO
ESTADO GENERAL: CORRECTO	**ESQUEMA UNIFILAR:** INCORRECTO		**LIMPIEZA:** OK

OBSERVACIONES: *La línea de grupo de presión está mal protegida (sección insuficiente).*
Pendiente de ser realizado análisis termográfico

					AUTOMATICOS/CONDUCTORES					RELE DIFERENCIAL			DIFERENCIAL					
POS.	MARCA/ MODELO	DESCRIPCIÓN	Nº POLOS	AMP.	SECCION ENTRADA	SECCION SALIDA	SECCION S.BOMBAS	PENTERAS	ANCLAJE	In AD.	Regulación In	Regulación Ia	Ima	ms	Ucv	Ia FABRICA	TEST MAN.	GRUPO SIRIO
1	SIEMENS	AUTOMATICO GENERAL	4	1600	240	240	240	OK	OK	SI	300	300	234	0.1	26	-	OK	SI
2	SIEMENS	SALON DE ACTOS	4	100	95	95	95	OK	OK	SI	300	300	240	0.2	29	-	OK	SI
3	SIEMENS	CUADRO SECUNDARIO NAVE 2	4	125	95	95	95	OK	OK	SI	300	300	222	0.1	27	-	OK	SI
4	SIEMENS	CUADRO SECUNDARIO NAVE 3	4	125	95	95	95	OK	OK	SI	300	300	240	0.2	29	-	OK	SI
6	SIEMENS	CAFETERIA CENTRAL	4	125	95	95	95	OK	OK	SI	300	300	222	0.1	27	-	OK	SI
14	SIEMENS	PLANTA BAJA CENTRAL	4	63	70	70	70	OK	OK	SI	300	300	234	0.1	26	-	OK	SI
15	SIEMENS	PLANTA 2º CENTRAL	4	63	70	70	70	OK	OK	SI	300	300	240	0.2	29	-	OK	SI
16	SIEMENS	PLANTA 3º CENTRAL	4	63	70	70	70	OK	OK	SI	300	300	222	0.1	27	-	OK	SI
17	SIEMENS	COMEDOR CENTRAL	4	63	70	70	70	OK	OK	SI	300	300	238	0.2	26	-	OK	SI
18	SIEMENS	ALUMBRADO C. TRANSFORMACION	4	50	50	50	50	OK	OK	SI	300	300	238	0.2	26	-	OK	SI
19	SIEMENS	CONTACTOR RED	2	10	1.5	1.5	1.5	OK	OK	-	-	-	-	-	-	-	OK	SI
20	SIEMENS	SOTANO CENTRAL	4	25	6	6	6	OK	OK	SI	300	300	222	0.1	27	-	OK	SI
21	SIEMENS	PLANTA 1º CENTRAL	4	25	6	6	6	OK	OK	SI	300	300	240	0.2	29	-	OK	SI
22	SIEMENS	COCINA CENTRAL	4	63	70	70	70	OK	OK	SI	300	300	222	0.1	27	-	OK	SI
23	SIEMENS	BATERIA DE CONDENSADORES	3	800	240(2)	240(2)	240(2)	OK	OK	SI	300	300	238	0.2	26	-	OK	NO
24	SIEMENS	VIGILANTE RED	3	16	2.5	2.5	2.5	OK	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	NO
25	SIEMENS	CONTACTOR GRUPO	2	10	1.5	1.5	1.5	OK	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	NO
26	SIEMENS	SERVICIOS AUXILIARES GRUPO	4	20	4	4	4	OK	OK	-	-	-	-	-	-	-	-	NO
27	SCHNEIDER	BOMBAS PCI	4	25	6	6	6	OK	OK		-	-	240	0.2	27	300	OK	NO
28	SCHNEIDER	CASETA OBRA	4	25	6	6	6	OK	OK	-	-	-	234	0.1	26	300	OK	NO
30	SIEMENS	BOMBAS SALA DE MAQUINAS	4	125	95	95	95	OK	OK	SI	300	300	222	0.1	27	-	OK	NO
32	SIEMENS	ASCENSOR CENTRAL	4	25	6	6	6	OK	OK	SI	300	300	240	0.2	27	-	OK	NO
35	SIEMENS	ZONA DE CARGA	4	400	185	185	185	OK	OK	SI	300	300	222	0.1	27	-	OK	NO
36	SIEMENS	CUADRO SECUNDARIO CLIMATIZACION	4	315	185	185	185	OK	OK	SI	300	300	238	0.2	26	-	OK	NO
37																		
38																		
39																		
40																		

Figura 12.23. *Ejemplo de un parte de mantenimiento de una instalación industrial.*

Figura 12.24. *Detalle del pulsador de test de un interruptor diferencial doméstico.*

12.2.3. Libro de mantenimiento

Es un documento en el cual se registrarán todas las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo llevadas a cabo en la instalación, indicando la fecha y hora de ejecución en cada caso. En las instalaciones relacionadas con los automatismos industriales, debe contener la siguiente información:

- Listado de todas las instalaciones y equipos a revisar.
- Informes de las actividades desarrolladas y de los resultados obtenidos.
- Inventario técnico.
- Reportes de uso del sistema.
- Modificaciones llevadas a cabo.
- Datos generales de funcionamiento (temperatura, tensión, intensidad, consumo, presión, etc.).
- Características técnicas de todos los equipos y máquinas.
- Partes históricos de averías en los que consten las deficiencias observadas y su fecha de subsanación.

SABÍAS QUE

Siempre que sea necesario, en el libro de mantenimiento se incluirán hojas de características y de especificaciones técnicas de los elementos, el equipo y los materiales utilizados en la instalación. Por ejemplo para argumentar códigos IP, IK, justificaciones de material antideflagrante, etc.

Actividad propuesta 12.3

Elabora un manual de uso y mantenimiento para un cuadro de mando y protección de tu vivienda.

El contenido mínimo del manual debe ser el siguiente:

- Precauciones, prescripciones y prohibiciones asociadas.
- Mantenimiento a llevar a cabo por el usuario de la instalación.
- Mantenimiento a llevar a cabo por el profesional cualificado.

Figura 12.25. *La verificación de los esquemas unifilares asociados a un cuadro eléctrico es una tarea de mantenimiento preventivo.*

12.2.4. Manual de instrucciones

En determinados casos, una vez finalizada la ejecución del proyecto, la empresa instaladora encargada de su montaje y puesta en servicio hará entrega a la propiedad de una copia del manual de instrucciones para el usuario, que describirá de forma exhaustiva y didáctica las posibilidades y funcionalidades que ofrece la instalación, así como las recomendaciones en cuanto a uso y mantenimiento de la misma.

El objetivo general del manual de instrucciones es informar sobre las funcionalidades que la instalación dispone. Para ello es imprescindible que el lenguaje sea adaptado y asequible para el usuario y se plantee siempre con descripciones visuales que puedan incluir croquis, dibujos realizados y fotografías. Además se debe añadir, cuando proceda, documentación sobre los equipos y materiales utilizados, especificaciones técnicas de los elementos de las instalaciones, condiciones de servicio, información sobre mediciones y calibración de los instrumentos de verificación y medida, así como un listado de la normativa y legislación aplicable según el tipo de instalación.

12.3. Mantenimiento de las instalaciones de automatismos industriales

Las operaciones de mantenimiento del equipamiento, instalaciones y sistemas de las instalaciones industriales, pasan por realizar las tareas dispuestas en el plan de mantenimiento, saber interpretar las especificaciones técnicas de funcionamiento de cada componente, realizar evaluaciones continuas del estado de los equipos y dispositivos y proponer y planificar tareas de mantenimiento preventivo.

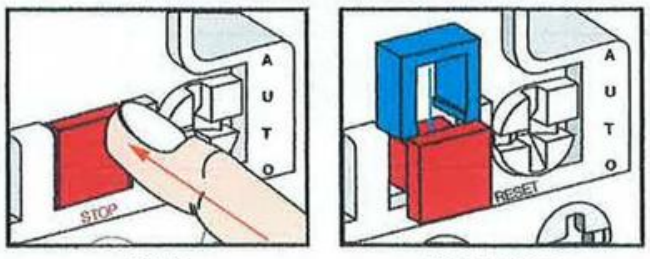
Es obligación del servicio de mantenimiento mantener la instalación eléctrica en condiciones óptimas, garantizan-

do lo máximo posible la total operatividad de los sistemas y procesos. Algunas tareas de mantenimiento preventivo asociadas a las instalaciones de automatismos industriales se exponen a continuación:

- Limpiar las superficies de los dispositivos.
- Comprobar de la tensión de la red de alimentación de los circuitos de mando y potencia.
- Verificar el desgaste de las partes móviles de los dispositivos de conexión.
- Comprobar diariamente el correcto estado y funcionamiento de todos los enclavamientos mecánicos y eléctricos.
- Verificar el funcionamiento de todas las señalizaciones de seguridad acústicas y luminosas.
- Comprobar el reglaje de los dispositivos de protección.
- Limpiar los laterales de la cámara apagachispas de los contactores (rascándolos).
- Revisar el apriete de toda la tornillería.

Resulta igualmente necesario respetar una serie de **normas y prescripciones** sobre lo que **nunca hay que hacer durante las tareas de mantenimiento,** como por ejemplo:

- Limar o engrasar los contactos de la aparamenta.
- Modificar una pieza o sustituirla por una pieza de recambio inadecuada.
- Rearmar un relé de protección sin averiguar antes la causa del disparo y subsanarla.
- En caso de enclavamiento de un relé térmico, este debe ser temporal y previamente debe haberse garantizado la imposibilidad de que se produzcan sobrecargas de larga duración.



Parada Enclavamiento

Figura 12.26. *Ejemplo de enclavamiento de un relé térmico.*

- Cambiar un fusible y volver a poner el equipo bajo tensión sin haber solucionado el defecto.
- Dejar abierto un cuadro eléctrico o un armario sin necesidad, especialmente en ambientes con riesgo de incendio o explosión.

Actividad propuesta 12.4

El fabricante de un contactor especifica en su hoja de características que el dispositivo tiene una endurancia mecánica equivalente a 2.500.000 de maniobras.

a) ¿Qué es la endurancia mecánica? ¿Qué quiere expresar el fabricante ofreciendo este dato?

b) ¿Para qué resulta útil este parámetro?

c) Estima la vida útil del contactor citado, si se utiliza para alimentar a un compresor que arranca siete veces por hora y que trabaja 24 horas al día durante todo el año.

RECUERDA

Los trabajos de mantenimiento deben ser ejecutados sin interrumpir el suministro de alimentación a toda la instalación.

12.3.1. Mantenimiento específico de motores

Las máquinas eléctricas rotativas son los elementos más críticos de las instalaciones eléctricas industriales, debido a que ejercen en muchos casos ciclos de trabajos de varias horas de duración, en los que se ven sometidas a calentamientos y sobreesfuerzos que originan desgastes mecánicos y eléctricos.

Sin el adecuado mantenimiento preventivo, el desgaste de un motor se verá incrementado de manera exponencial, poniendo en riesgo tanto el funcionamiento del propio proceso industrial como la integridad de la instalación eléctrica.

RECUERDA

El desgaste de un equipo se acentúa cada vez más si no se corrigen los pequeños defectos que van surgiendo. A la corrección de estas pequeñas anomalías, antes de que se produzcan las averías, se le denomina mantenimiento preventivo.

El mantenimiento de los motores ha de realizarse de forma preventiva, y por tanto, sin necesidad de que presente ningún tipo de avería. Para llevar a cabo esta tarea se fijará una periodicidad de revisiones en función del número de **horas de trabajo de la máquina** (generalmente suele oscilar entre 1.500 y 2.500 horas).

Las tareas básicas de mantenimiento de motores eléctricos a llevar a cabo son las indicadas a continuación:

- Análisis del estado general de la máquina (conexiones, aspecto externo, zonas recalentadas o quemadas, estado de los conductores, etc.).

- Chequeo de las partes sometidas a más desgaste.
- Revisión de anclajes y elementos móviles (engrasado, rodamientos, aprietes, etc.).
- Verificar el correcto estado de los elementos refrigerantes (en caso de disponer de refrigerante líquido) y comprobar que las salidas de ventilación no se encuentran obstruidas.
- Realizar ensayos generales estáticos y dinámicos (ensayo de potencia, ensayo de frecuencia, posibles vibraciones, etc.).
- Comprobar tensión de red, carga del motor y corriente consumida.
- Verificar el correcto arranque y frenado de la máquina.

Todas las conclusiones serán anotadas en el parte de mantenimiento, que deberá ser almacenado a modo de historial, donde además se especificará si es necesario cambiar piezas y la fecha en que se hace la sustitución.

Un ejemplo de parte de mantenimiento para máquinas rotativas se muestra a continuación:

PARTE DE MANTENIMIENTO MÁQUINAS ROTATIVAS						
Fecha		Hora y lugar				
Empresa						
Técnico						
Identificación/Designación de la máquina						
Tipo		Fabricante				
Servicio en		Potencia				
Rotórico		Estatórico				
Conexión		Resistencia				
Medidas realizadas	Tensión				OBS.	
	Intensidad				OBS.	
	Temperatura				OBS.	
	Aislamiento				OBS.	
	Otros				OBS.	
	Otros				OBS.	
Comprobaciones mecánicas y visuales	Cojinetes					
	Fijación					
	Escobillas					
	Colector					
	Otros					
	Otros					
	Otros					
Elementos a sustituir						
Observaciones						
Comentarios del técnico						
Firma		Fecha próxima revisión				

Figura 12.27. *Parte de mantenimiento tipo en instalaciones industriales con máquinas rotativas.*

12.4. Resolución de averías en las instalaciones de automatismos industriales

La resolución de los problemas y averías que se presentan durante el funcionamiento de un sistema eléctrico es una parte fundamental del **mantenimiento correctivo**.

Resulta muy frecuente que los fallos en el funcionamiento habitual de la instalación tengan un origen ajeno al propio sistema automático. La interrupción del suministro eléctrico en la instalación de baja tensión es una de las causas más frecuentes de mal funcionamiento de los componentes. Esta falta de energía se debe generalmente a los **disparos de las protecciones** magnetotérmicas o diferenciales, los **cortes voluntarios del suministro eléctrico** y el **deterioro de los conductores** por impactos accidentales o por sobrecalentamiento.

El procedimiento general de actuación para la localización de los defectos que producen estas averías es el que se muestra en el siguiente diagrama:

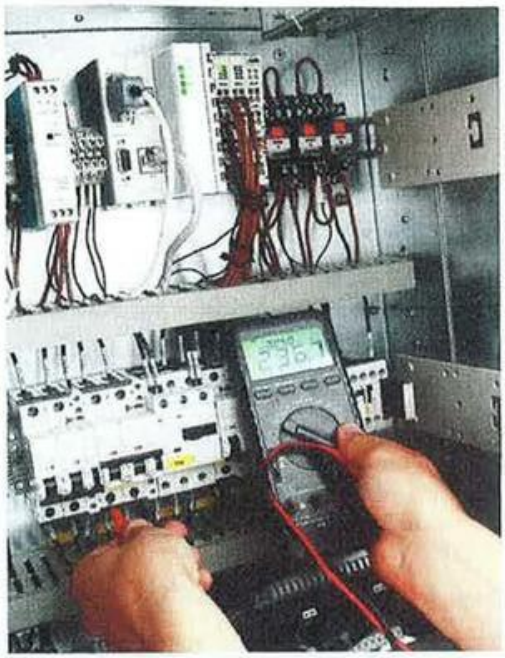


Figura 12.28. *Comprobación del nivel de tensión en un circuito monofásico.*

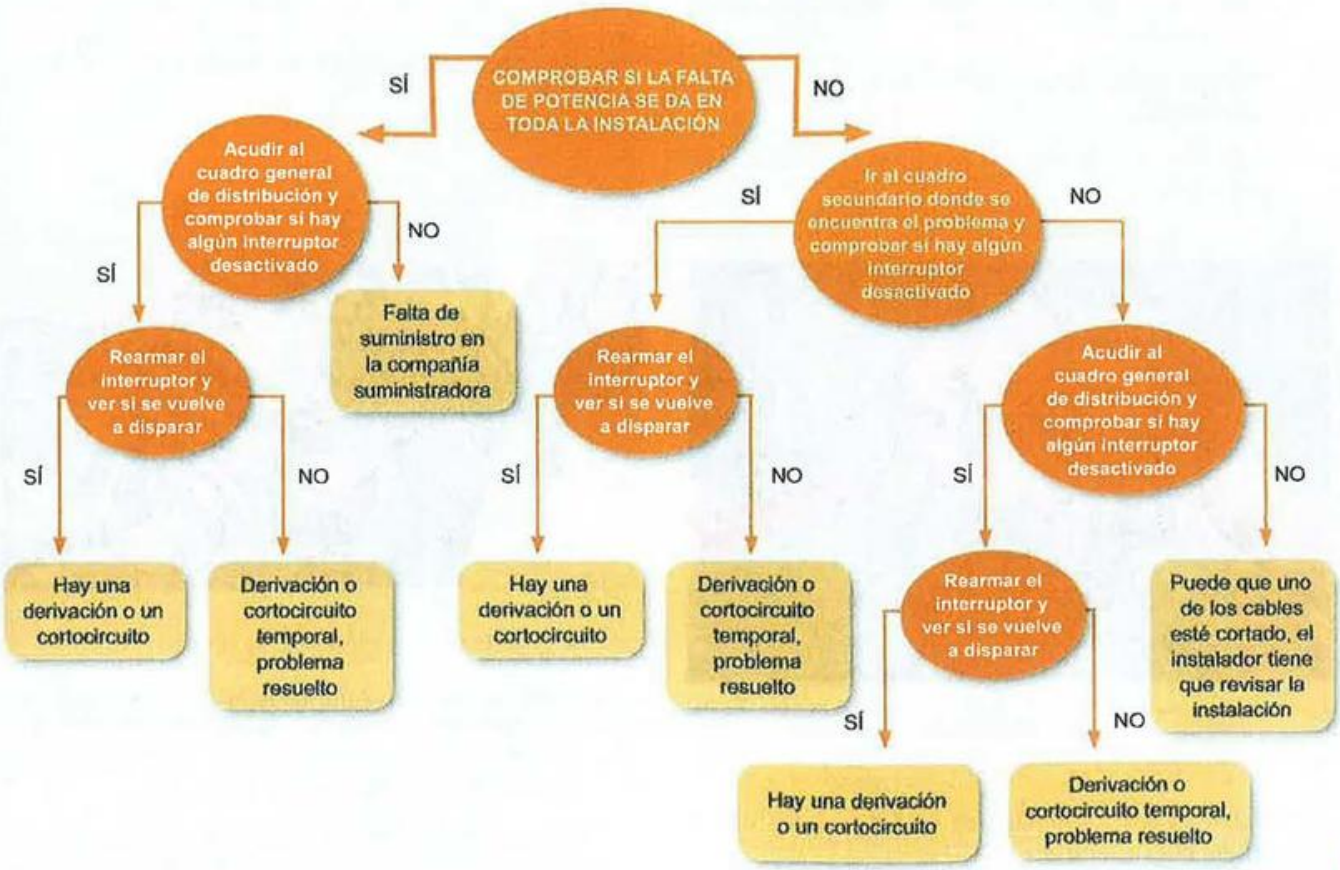


Figura 12.29. *Pautas de actuación para la localización y reparación de averías en la instalación eléctrica.*

Una vez detectado el origen de una avería y para proceder a la reparación, el técnico cualificado y autorizado debe actuar como se describe a continuación, teniendo siempre en cuenta los métodos de trabajo más adecuados en cada situación:

1. Comprobar visual o funcionalmente el defecto.
2. Desconectar el circuito afectado y verificar la ausencia de peligro para las personas o las instalaciones.
3. Reparar el elemento dañado o sustituirlo por otro de las mismas características.
4. Reponer la tensión y comprobar el normal funcionamiento de la instalación.

Respecto a las anomalías y averías tipo más frecuentes asociadas a los componentes y dispositivos característicos de las instalaciones de automatismos industriales, destacan las siguientes:

- Bloqueo del rotor en motores.
- Averías por desgaste en los elementos mecánicos rotativos.
- Sobrecargas de trabajo prolongadas.
- Aumento excesivo de la temperatura de un equipo o del cableado.
- Sobretensiones, desequilibrios y perturbaciones electromagnéticas.
- Cortocircuitos o roturas en los devanados internos de un motor.

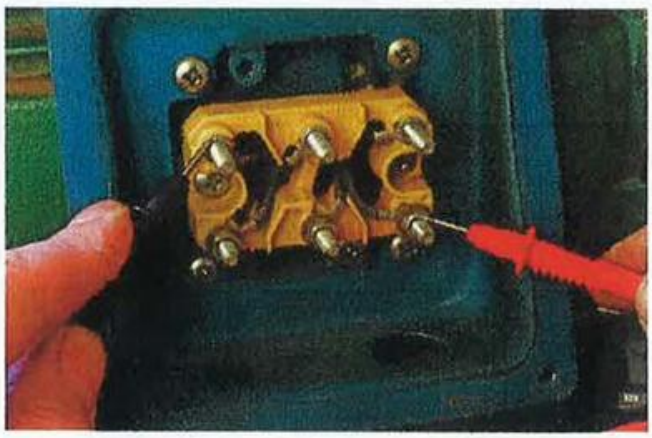


Figura 12.30. *Comprobación de la continuidad en los devanados de un motor trifásico para conexión estrella -triángulo.*

- Deterioro del aislamiento de las bobinas del rotor o estator por rozamiento.
- Conexiones erróneas (fundamentalmente en los circuitos de mando).
- Sobrecalentamiento de los contactores.
- Ruido mecánico o magnético en el contactor durante el funcionamiento.
- Fallos en el electroimán del contactor.
- Soldadura entre contactos de contactores u otros dispositivos de conexión y protección.
- Desgaste prematuro de los contactos en los dispositivos de aparamenta.
- Fallo de alimentación de los autómatas.
- Errores de comunicación entre el PLC y las entradas y salidas del sistema.
- Cableado del autómata suelto o incorrecto.
- Errores en la programación y configuración de los equipos electrónicos.
- Puestas a tierra de los equipos mal conectadas o incorrectas.

SABÍAS QUE

Las bobinas de un motor con espiras en cortocircuito han de ser rebobinadas y aisladas de nuevo, bien haciéndolo de la bobina afectada solamente si esto es posible, o del conjunto del devanado.

Figura 12.31. *Proceso de bobinado de motores trifásicos.*

En caso de avería, resulta fundamental realizar el desmontaje, reparación y reemplazamiento de los componentes y equipos en el menor tiempo posible, pero cumpliendo siempre con las máximas garantías de calidad.

La rápida localización de las averías en las instalaciones industriales depende en gran medida de la posibilidad de realizar una monitorización de los procesos, controlando el sistema en tiempo real. En este sentido, existen equipos

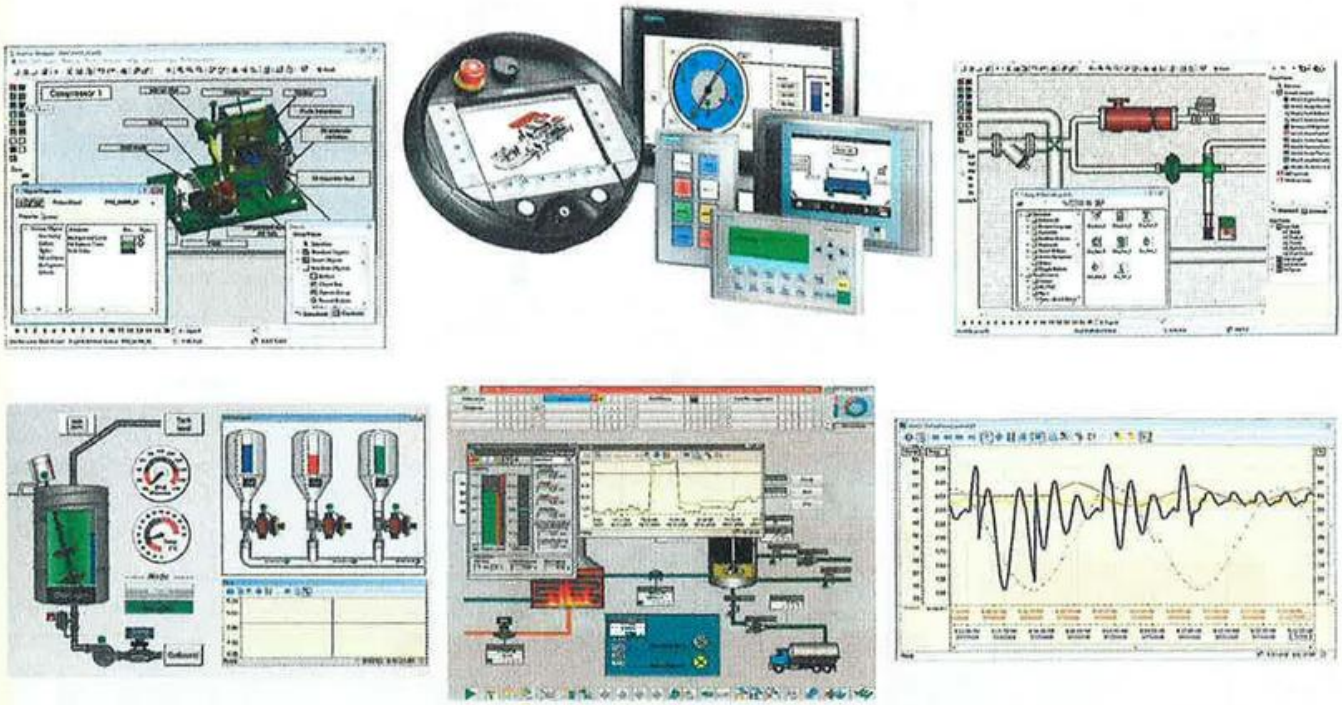


Figura 12.32. *Ejemplos de software para la monitorización de procesos industriales en tiempo real. (Cortesía de Siemens.)*

y programas informáticos específicos para la supervisión de las instalaciones de automatismos y sus procesos asociados, tanto las basadas en lógica cableada como en lógica digital.

Estos sistemas basan su funcionamiento en la comunicación continua y a tiempo real con la instalación, accediendo, leyendo y transmitiendo información de forma bidireccional, permitiendo visualizar en una pantalla los datos más significativos de los equipos y procesos.

12.5. Legalización y puesta en servicio de las instalaciones eléctricas industriales

Tras ejecutar una instalación eléctrica, resulta necesario realizar un proceso de legalización que consiste básicamente en tramitar toda su documentación técnica de manera que quede debidamente inscrita y validada en el registro de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la comunidad autónoma a la que pertenece la instalación.

La legalización de una instalación eléctrica de baja tensión se realiza en base al siguiente procedimiento:

1. Elaboración previa a la ejecución de la instalación de la documentación técnica que defina las características de dicha instalación. Esta documentación puede ser *proyecto* o *memoria técnica de diseño* en función del tipo de instalación.
2. Ejecución de la instalación, de manera acorde a las correspondientes disposiciones legales y normas vigentes.
3. Inspección y verificación previa de la instalación por parte de la empresa instaladora que la ha ejecutado y del jefe de obra en caso de ser necesario.
4. Emisión del certificado de instalación eléctrica en baja tensión. Este documento debe ser redactado y firmado por un instalador eléctrico autorizado, haciéndole responsable de todos los trabajos llevados a cabo en la instalación.
5. Trámites con la administración. La tramitación de las instalaciones eléctricas requiere unos procesos administrativos que pueden diferir en cierta medida dependiendo de cada comunidad autónoma. Dichos trámites son llevados a cabo por la DGIEM o por un organismo de control autorizado. A pesar de las diferencias existentes en cuanto a la metodología de legalización de las instalaciones, en todas ellas se siguen unas pautas similares que pasan por la recepción de la documentación, la revisión de la misma y la ejecución de la correspondiente inspección inicial de la instalación cuando así proceda.

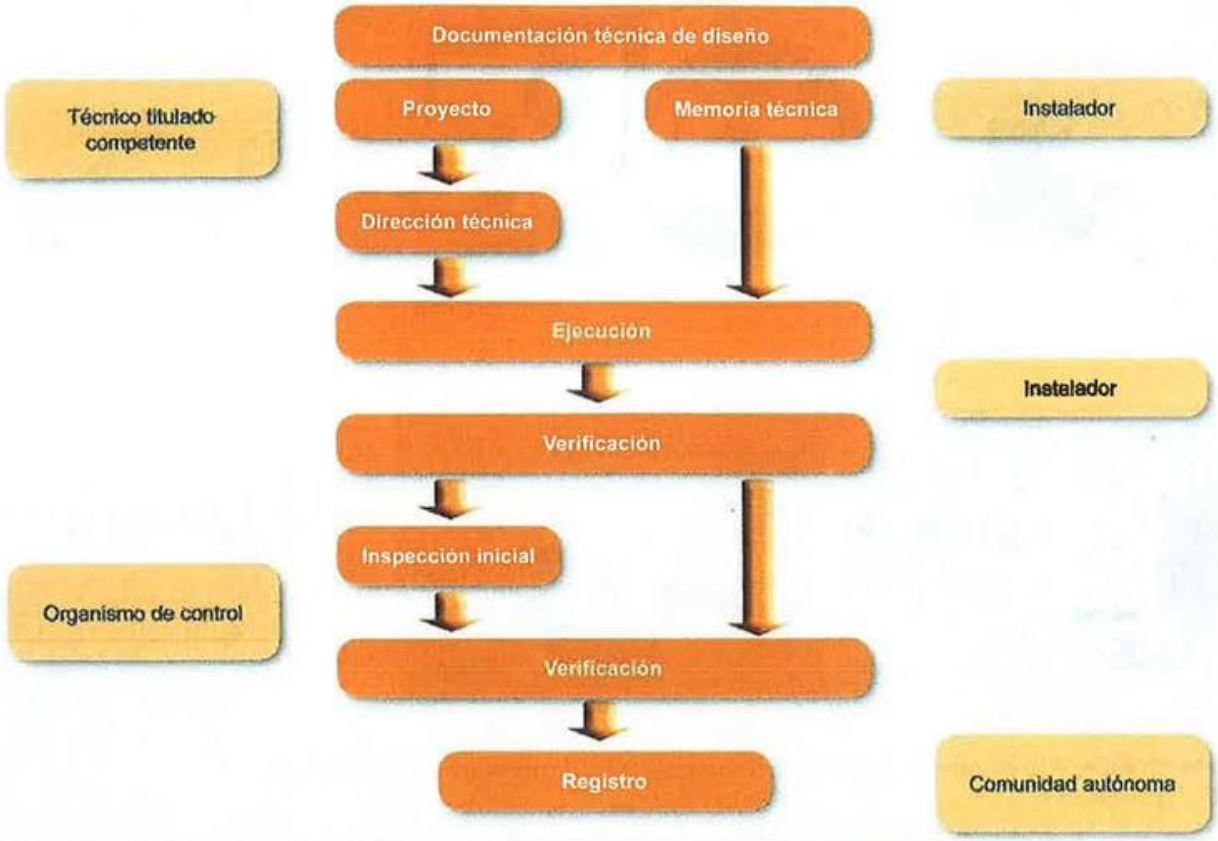


Figura 12.33. *Proceso de legalización de las instalaciones eléctricas en baja tensión. En algunas comunidades autónomas es posible que las instalaciones documentadas con MTD pasen una inspección inicial a modo de muestreo.*

12.5.1. Documentación asociada a las instalaciones eléctricas

Las instalaciones eléctricas de baja tensión deben ejecutarse sobre la base de una documentación técnica que, en función de su importancia, deberá adoptar una de las siguientes modalidades:

- Proyecto electrotécnico.
- Memoria técnica de diseño.

El **proyecto** de una instalación debe definir todas y cada una de las instalaciones de la edificación objeto. Un proyecto debe englobar todos sus documentos dentro de un mismo volumen.

Particularmente, el proyecto de una instalación eléctrica tiene como finalidad describir todas las características eléctricas definitivas de dicha instalación, adaptándose a lo solicitado por el cliente y respetando las normativas vigentes. El proyectista, un técnico cualificado con titulación universitaria, es el encargado de realizar esta tarea ayudándose de programas informáticos u otros utensilios existentes para ejecutar la tarea de la forma más adecuada posible a la solución solicitada. El proyecto definitivo será consensuado entre proyectista y cliente en base al resultado final que se quiera obtener en lo que a calidades, precios y soluciones constructivas se refiere.

Para llevar a cabo un proyecto adecuado y completo técnicamente se establecen los siguientes documentos básicos imprescindibles que han de formarlo:

- Portada.
- Índice general de contenidos.
- Memoria descriptiva.
- Anexos de cálculos eléctricos.
- Pliego de condiciones.
- Presupuesto.
- Estudios con entidad propia, planes y manuales.
- Planos de proyecto de obra civil y edificación.
- Planos y esquemas de la instalación eléctrica.

Asimismo, en determinadas instalaciones industriales, también puede resultar necesario incluir en el proyecto electrotécnico uno o varios de los siguientes documentos o justificaciones, solo cuando corresponda:

- Plano del trazado de las vías de evacuación.
- Clasificación de zonas con riesgo de incendio o explosión.
- Descripción y características del segundo suministro.
- Descripción y cálculos justificativos del alumbrado de emergencia.

La **memoria técnica de diseño**, más conocida por su acrónimo MTD, es un documento que contiene las características eléctricas básicas imprescindibles para definir la instalación eléctrica objeto. Puede ser suscrita por un técnico competente o por el propio instalador eléctrico autorizado.

El formato puede variar en función de la comunidad autónoma en la que se registre la instalación, pero de manera genérica, puede establecerse que los contenidos mínimos que deben aparecer en una MTD son los siguientes:

- Datos referentes al propietario de la instalación.
- Emplazamiento de la instalación.
- Uso al que se destina la instalación.
- Relación nominal de los receptores que se prevea instalar y su potencia.
- Cálculos justificativos de las características de la línea general de alimentación, derivaciones individuales, líneas secundarias y circuitos interiores.
- Características de los elementos de corte y protección adoptados.
- Puntos de utilización y secciones de los conductores de cada uno de los circuitos.
- Pequeña memoria descriptiva de los trabajos realizados.
- Esquema unifilar de la instalación eléctrica.
- Croquis del trazado de las canalizaciones.
- Identificación de la persona que firma la memoria y justificación de su competencia.
- Fecha de elaboración de la memoria.

RECUERDA

Los procesos administrativos necesarios para la legalización de una instalación eléctrica pueden diferir en cierta medida dependiendo de cada comunidad autónoma.

12.5.2. Documentación asociada a las instalaciones eléctricas industriales

Dependiendo del uso y características de una instalación eléctrica, será necesario que esta tenga asociada para su ejecución un proyecto electrotécnico o una memoria técnica de diseño. Concretamente, en el caso de las instalaciones eléctricas de automatismos industriales, al pertenecer al entorno de las instalaciones industriales, la ITC-BT-04 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece que para potencias instaladas superiores a 20 kW, será necesario realizar un proyecto.

Tabla 12.4. Documentación técnica asociada a las instalaciones eléctricas industriales.

$P \leq 20$ kW	$P > 20$ kW
MTD	Proyecto

12.5.3. Certificado de instalación eléctrica

Para dar de alta y dotar de suministro a una instalación eléctrica es necesario disponer de un *certificado de instalación eléctrica* debidamente cumplimentado, en el cual se especifican las características técnicas básicas de la instalación.

El encargado de realizar el boletín es el instalador eléctrico autorizado, este ha de firmar el boletín, en nombre de una empresa instaladora, con lo que se hace responsable de que la instalación eléctrica objeto definida en el proyecto o en la memoria técnica de diseño, según corresponda, cumple la normativa vigente. En definitiva, el instalador que firma el boletín acredita que dicha instalación eléctrica se adecua a las especificaciones indicadas en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión vigente en el momento.

Se ha de realizar boletín eléctrico en los siguientes casos:

- En toda instalación eléctrica nueva.
- En cualquier ampliación de la instalación eléctrica.
- Cuando se realice una modificación de importancia en la instalación.

SABÍAS QUE

Una empresa instaladora habilitada no podrá facilitar, ceder o enajenar certificados de instalación no realizados por ella misma.

ELECTRICIDAD ELECT

Dirección General de Industria, Energía y Minas
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA
Comunidad de Madrid

Nº exp. .-

Sello y fecha EICI

CERTIFICADO DE INSTALACIÓN ELÉCTRICA EN BAJA TENSIÓN

TITULAR

Apellidos y nombre o Razón Social .-				D.N.I. - N.I.F.
Civis Eventos y Comunicacion				G-43567743
Domicilio (calle o plaza y número) .-				C.P.
Calle Fundidores, S/N				28906
Municipio	Provincia	Teléfono	Fax	Correo-e .-
Getafe	Madrid	-	-	-
Representante (si procede) .-	Carla Benítez Rodríguez			D.N.I. .- 52996412-P

DATOS DE LA INSTALACION

Emplazamiento de la instalación

Tipo de vía (calle, plaza...)	Nombre de la vía	Nº	Bis	Esc.	Piso	Puerta
Calle	Fundidores	S/N				
Municipio Getafe			C.P. .- 28906			

Características técnicas de la instalación (*)

Temporalidad (1) .- N/A días

Proyecto o MTD por (2).-	N	Uso de inst. (3).-	INDUSTRIA (IMPRENTA)	Superficie .-	1242 m²	Aforo (4).-	N/A	pers.	
Pot. Max. Adm. (5).-	1732 kW	Pot. Amp./mod. (6).-	N/A kW	Pot. Original (7).-	N/A kW	Tensión .-	400/230 V		

Acometida : Punto de conexión (8) .- CT | Tipo (9) .- SUB. | **C.G.P. (esq.) .-** 12 | **BTV (nº sal.) .-** N/A

Línea General de Alimentación Sección .- N/A mm² | **Derivación Individual :** Sección .- 300 mm²

Contadores (Ubicación y sistema) : Tipo (10) .- N/A | Situación (11) .- N/A

Protecciones : Int. General .- 4X2500 A | Prot. Contra sobretensiones.- ☑ SI ☐ No | Int. Dif. In (A) / Sensib. (Ma) .- 2500 A / 500 mA

Sistemas de conexión del neutro y de las masas (Esquema de distribución) (12) .- TT

Empresa distribuidora .- IBERDROLA

Observaciones (Descripción de los trabajos realizados y de la instalación si se elige Categoría Z para el Uso)

INSTALACIÓN INDUSTRIAL NUEVA, CONFORME AL REBT RD 242/2002

EMPRESA INSTALADORA

Apellidos y nombre o razón social				Nº certif. Empresa instaladora
INSTALACIONES ELÉCTRICAS VEGA				30921
Categoría y especialidad de la empresa instaladora ☐ Básica ☑ Especialista			Cat. y especialidad del instalador ☐ Básica ☑ Especialista	
Nombre del instalador : FLORENTINA FERNANDEZ VEGA				Nº certif. Instalador .- 10858
Domicilio (calle o plaza y número)				C. P.
Avenida Ave del Paraíso, s/n				28660
Municipio	Provincia	Teléfono	Fax	Correo-e .-
Boadilla del Monte	Madrid	-	-	-

CERTIFICACIÓN DE LA EMPRESA INSTALADORA

El instalador autorizado que suscribe o la empresa instaladora referenciada y en su nombre el titular del certificado de cualificación individual con nombre y número arriba indicados, certifica haber ejecutado la instalación referenciada documentada en Memoria Técnica de Diseño ☐ / Proyecto ☑ con nº de Visado 234236/14 y fecha 30/08/2014 correspondiente, de acuerdo al vigente R.E.B.T., sus I.T.C y las normas particulares de la empresa distribuidora y haber realizado la verificación de las instalaciones, con resultado favorable, según consta en el presente certificado.

☐ Aplica y se incluye certificación sobre el cumplimiento del R.D.1890/2008, REAE. Pot. Instalada luminarias y aux. R.D. 1890/2008 N/A kW

☑ No aplica el R.D. 1890/2008 | ☐ Aplica ITC-BT 51 sobre inst. de sist. de autom., gestión técnica de la energía y seg. Para viviendas y edificios

GETAFE , a 19 de SEPTIEMBRE de 2014

D./Dª FLORENTINA FERNANDEZ VEGA

Firma y sello de la empresa instaladora

(1) Para inst. temp. d.2. (ferias, ...).
(2) Instalación : N (Nueva), A (Ampliación y Ampliación-Modificación), M (Modificación);
(3) Uso : Según Categorías del Reglamento
(4) Para posibles LPC sean < ó > 50.
(5) Pot. máxima de la instalación. En caso de A o M corresponde a la potencia final de la instalación
(6) En caso de A o M corresponde a lo ampliado y/o modificado. N/A si es nueva.
(7) Para A y M pot. original de la instalación. Para nueva N/A
(8) CT (Centro de transformación) o RBT (Red de baja tensión)
(9) Aérea, Subterránea
(10) Armario, Local
(11) Fachada, planta sótano, ...
(12) TT, TN, IT y descripción

VERIFICACIONES POR MEDIDAS Y ENSAYOS

1. Resistencia de puesta a tierra :	8,04	Ω
2. Resistencia de aislamiento de los conductores :	500	MΩ
3. Otras :		

(*) Se cumplimentarán todos los campos de "Características técnicas de la instalación" de este documento, independientemente de que se rellenen con N/A "no aplica" o una llamada al campo de observaciones o se elegirá entre las opciones que se propongan.

El presente boletín se expide exclusivamente a los efectos previstos en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y disposiciones complementarias, sin implicar el cumplimiento por parte del Titular de la instalación de todos los requisitos que pudiera imponer la normativa vigente para la puesta en servicio y suscripción de contrato de suministro eléctrico.

Los datos que se recogen se tratarán informáticamente o se archivarán con el consentimiento del ciudadano, quien tiene derecho a decidir quién puede tener sus datos, para qué los usa, solicitar que los mismos sean exactos y que se utilicen para el fin que se recogen, con las excepciones contempladas en la legislación vigente. Para cualquier información relacionada con esta materia puede dirigirse al teléfono de información administrativa 012. Si usted tiene alguna sugerencia que permita mejorar este impreso le rogamos nos la haga llegar a la Consejería de Presidencia, D.G. de Calidad de los Servicios y Atención al Ciudadano.

EJEMPLAR PARA LA DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINAS

Figura 12.34. *Ejemplo de certificado de instalación eléctrica para una instalación industrial.*

Existe una plantilla de certificado eléctrico publicado por el Boletín Oficial del Estado, pero cada comunidad autónoma tiene un modelo propio de certificado de instalación, aunque las características básicas que debe recoger son prácticamente las mismas, variando el formato y algún tipo de información adicional. De manera genérica, puede establecerse que el **contenido genérico de un certificado de instalación eléctrica** es el siguiente:

- Datos referentes al titular de la instalación o representante del mismo.
- Datos referentes a la empresa instaladora.
- Certificación de la empresa instaladora.
- Datos referentes al instalador autorizado.
- Datos de la empresa distribuidora de energía eléctrica.
- Características generales de la instalación.
- Características técnicas de la instalación.
- Verificaciones por medidas y ensayos.
- Firma del instalador autorizado.

12.5.4. Tramitación de las instalaciones

Una vez ejecutada la instalación será el propio instalador eléctrico autorizado el encargado de aportar la documentación necesaria ante el organismo competente de la provincia donde se encuentre ubicada la instalación, el cual tramitará y legalizará dicha instalación, de manera que el titular pueda posteriormente realizar la solicitud del suministro eléctrico a la correspondiente empresa suministradora de energía eléctrica.

La documentación a aportar varía en función de cada comunidad autónoma y de si la instalación requiere tener asociado un proyecto eléctrico o memoria técnica de diseño. De manera genérica, puede establecerse que, en caso de instalaciones que precisen una **memoria técnica de diseño** para su legalización, se deberá aportar la siguiente documentación:

- Cinco copias del certificado de instalación eléctrica.
- Dos copias de la memoria técnica de diseño (modelo oficial de cada comunidad, incluyendo los planos y esquemas necesarios).
- Fotocopia del certificado de empresa instaladora.
- Anexo de información al usuario.
- Autorización del titular al instalador para tramitación de expediente.
- Fotocopia de la documentación personal del instalador y/o del titular cuando proceda.
- Justificantes de pagos y tasas.

En el supuesto de que la instalación requiera un **proyecto** para su legalización, se aportará, además de la documentación anterior (exceptuando la MTD), lo siguiente:

- Dos copias del proyecto redactado y firmado por un técnico titulado competente.
- Dos copias del certificado final de obra.
- Declaración responsable del proyecto y declaración responsable del certificado final de obra (solo en el supuesto de que ambos documentos no hayan sido visados por el colegio oficial respectivo).

Asimismo, y si el tipo de instalación lo requiere, se debe adjuntar adicionalmente la siguiente documentación, en función de cada caso:

- Memoria o proyecto de eficiencia energética cuando la potencia del alumbrado exterior supere los límites establecidos.
- Clasificación de zonas con riesgo de incendio o explosión y equipos y materiales utilizados, o proyecto de ventilación forzada para desclasificación de los volúmenes, para locales o industrias con riesgo de incendio o explosión.
- Descripción y características del segundo suministro. Suministro de socorro, reserva o duplicado para las instalaciones que así lo requieran por su potencia, uso o características.

12.5.5. Inspecciones iniciales y periódicas

Las instalaciones eléctricas en baja tensión de especial relevancia, en función de su uso y características, deberán ser objeto de inspección por un organismo de control, a fin de asegurar, en la medida de lo posible, el cumplimiento reglamentario a lo largo de la vida de dichas instalaciones.

Concretamente, en el caso de los automatismos industriales, la ITC-BT-05 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece que serán objeto de **inspección inicial** las instalaciones industriales que precisen proyecto, con una **potencia instalada superior a 100 kW**. Estas instalaciones deberán, asimismo, someterse a una **inspección periódica cada 5 años**.

SABÍAS QUE

Las inspecciones periódicas de instalaciones eléctricas de baja tensión cuya fecha de legalización fuese anterior a la entrada en vigor del REBT 2002, se acogerán a las disposiciones establecidas en el anterior reglamento, a pesar de que ya ha sido derogado. Se trata del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión de 1973, aprobado en el Decreto 2413/1973, de 20 de septiembre.

El procedimiento de inspección a seguir para cada tipo de inspección viene determinado por la comunidad autónoma en la que se realice la inspección y por el organismo encargado de realizarla.

Por lo general, las mediciones y comprobaciones realizadas en una inspección inicial son las mismas que las que se realizan durante la inspección periódica correspondiente, llegado el momento de realizarla. Las diferencias se encuentran en el formato del acta que se emite una vez realizada la inspección.

El organismo de control realizará la inspección de las instalaciones en base a las prescripciones que establece la reglamentación en vigor y de lo especificado en la documentación técnica. La inspección puede tener tres posibles resultados:

- **Favorable:** cuando no se determine la existencia de ningún defecto muy grave o grave. Los posibles defectos leves se anotarán para constancia del titular, con la indicación de que deberá poner los medios para subsanarlos antes de la próxima inspección periódica.

  En caso de inspecciones favorables iniciales se entrega al instalador el certificado de instalación eléctrica correspondiente a la instalación, con el cual se podrá contratar suministro eléctrico en la compañía eléctrica correspondiente. En el caso de inspecciones periódicas favorables se emite un certificado de inspección periódica con la validez establecida para los siguientes cinco años.

- **Condicionado:** cuando se detecte la existencia de, al menos, un defecto grave o defecto leve procedente de otra inspección anterior que no se haya corregido. En este caso, las instalaciones nuevas no podrán ser suministradas de energía eléctrica hasta que corrijan las deficiencias y puedan obtener la calificación de favorable. A las instalaciones ya en servicio se les dará un plazo máximo de seis meses para subsanar los defectos.

- **Negativo:** cuando se observe uno o varios defectos muy graves. En este caso, las instalaciones nuevas no podrán entrar en servicio hasta que corrijan las deficiencias y puedan obtener la calificación de favorable. A las instalaciones ya en servicio se les emitirá un certificado negativo, que se remitirá inmediatamente al órgano competente de la comunidad autónoma.

12.5.6. Puesta en servicio de las instalaciones

Una vez legalizada la instalación, el instalador autorizado hará entrega de dos copias de certificado eléctrico de baja tensión al titular de la instalación, uno para sí mismo y otro para la compañía suministradora de energía eléctrica, tal como queda reflejado en el diagrama de la Figura 12.35.

Posteriormente, el encargado de solicitar el suministro energético lo hará mediante la presentación del certificado de instalación eléctrica debidamente legalizado en la correspondiente empresa suministradora.

Posteriormente, y para formalizar la solicitud del suministro eléctrico (véase Figura 12.36), será el titular de la instalación el encargado de presentar el certificado correspondiente a la compañía suministradora de energía eléctrica, que realizará las verificaciones, medidas y ensayos oportunos en cada caso, y en caso favorable, conectará la instalación a la red eléctrica de distribución.

En instalaciones de grandes dimensiones, además, resultará necesario que el instalador autorizado entregue a la compañía documentación adicional, como por ejemplo el esquema de la instalación de enlace.

Figura 12.35. *Distribución de las cinco copias del certificado de instalación.*

IBERDROLA

SOLICITUD DE SUMINISTRO

Solicitante			
NOMBRE/RAZÓN SOCIAL		**DNI/CIF**	

Dirección del Solicitante

MUNICIPIO				**CP**	
Calle/Plaza				**Nº**	
TFNO. FIJO		**TFNO. MÓVIL**		**E-MAIL**	

Representante			
NOMBRE/RAZÓN SOCIAL		**DNI/CIF**	

¿Actua como Instalador?	**Sí**		**No**	

Dirección del Representante

MUNICIPIO				**CP**	
Calle/Plaza				**Nº**	
TFNO. FIJO		**TFNO. MÓVIL**		**E-MAIL**	

Deseo que toda la información relativa a este expediente se remita al:
Solicitante ☐ **Representante** ☐

DATOS DE LA SOLICITUD

INDIVIDUAL					
AUX. DE OBRAS		**NUEVO SUMINISTRO**		**AMPLIACIÓN**	
MUNICIPIO				**CP**	
Calle/Plaza				**Nº**	
POTENCIA		**TENSIÓN**			
OBSERVACIONES					

* Con el fin de cumplir con el Art. 12 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, en las solicitudes de auxiliar de obra, y para cursar las mismas, se deberá aportar la siguiente información relativa al suministro definitivo: número de viviendas, grado de electrificación y planos y superficies de los locales comerciales definitivos de la edificación.

COLECTIVO			
VIVIENDAS EN FINCA		**NÚMERO DE PORTALES (1)**	
VIVIENDAS UNIFAMILIARES (2)			
NAVES INDUSTRIALES (3)			

(1) Se acompañará un ANEXO I por cada uno de los portales
(2) Se acompañará un ANEXO II o ANEXO II - a
(3) Se acompañará un ANEXO III o ANEXO III - a

** Se informa que, según legislación vigente, caso que su petición supere los 100 kW en casco urbano, tiene la obligación de reservar un local para posible ubicación de centro de transformación.
*** En documento aparte se indica la documentación necesaria e imprescindible para realizar el alta efectiva de la solicitud.
**** Se indica la documentación necesaria para la contratación final del suministro.
El presente impreso cumplimentado, junto con la documentación a aportar, se puede entregar por las siguientes vías:
1) Dirección de mail - acometidascaceres@iberdrola.es
acometidasbadajoz@iberdrola.es

2) Direcciones postales IBERDROAL, S.A. - CPD C/ PERIODISTA SANCHEZ ASENSIO, 1, 10002 - CACERES

3) O entrega física en Punto IBERDROLA de Cáceres, Plasencia o Navalmoral de la Mata

Firma Solicitante:

Teléfono Cliente 901-20 20 20

Figura 12.36. *Modelo ejemplo de solicitud de suministro eléctrico para la Comunidad Autónoma de Extremadura. (Cortesía de Iberdrola.)*

Actividades de comprobación

12.1. La reparación de una avería forma parte del
- a) Mantenimiento preventivo.
- b) Mantenimiento correctivo.
- c) Mantenimiento preventivo.

12.2. ¿Cómo debe conectarse un amperímetro?
- a) En serie.
- b) En paralelo.
- c) Depende del circuito.

12.3. ¿Cómo debe conectarse un polímetro?
- a) En serie.
- b) En paralelo.
- c) Depende de la magnitud eléctrica que se desee medir.

12.4. ¿Cuál de las siguientes magnitudes no es capaz de *medir un polímetro o multímetro convencional*?
- a) Tensión.
- b) Continuidad.
- c) Potencia.

12.5. ¿Qué instrumento podemos utilizar para medir la potencia eléctrica en un circuito?
- a) Un vatímetro.
- b) Un luxómetro.
- c) Una pinza amperimétrica.

12.6. Existe un aparato de medida que permite verificar de forma rápida si un componente de la instalación eléctrica se encuentra en tensión. ¿Cómo se denomina?
- a) Analizador de redes.
- b) Osciloscopio.
- c) Buscapolos.

12.7. El proceso de tramitación y legalización de las instalaciones eléctricas, ¿es idéntico en todas las comunidades autónomas?
- a) Sí, ya que lo establece el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
- b) Sí, pero solo en el territorio peninsular.
- c) No, depende de cada comunidad autónoma.

12.8. ¿Cuál de los siguientes equipos o herramientas no le *resultaría necesario a un instalador o mantenedor de* instalaciones eléctricas de baja tensión?
- a) Telurómetro.
- b) Simulador de frecuencia intermedia.
- c) Medidor de resistencias de bucle.

12.9. De entre las siguientes opciones, selecciona lo que nunca habría que hacer durante las tareas de mantenimiento en una instalación de automatismos industriales:
- a) Limar o engrasar los contactos de la aparamenta.
- b) Limpiar los laterales de la cámara apagachispas de los contactores (rascándolos).
- c) Comprobar el estado y funcionamiento de todos los enclavamientos mecánicos y electricos.

12.10. Una vez detectado el origen de una avería, ¿cómo debe actuar el técnico encargado de proceder a la reparación de la misma?
- a) Comprobar visual o funcionalmente el defecto, reparar el elemento dañado o sustituirlo por otro de las mismas características, desconectar el circuito afectado y verificar la ausencia de peligro para las personas o las instalaciones y reponer la tensión y comprobar el normal funcionamiento de la instalación.
- b) Comprobar visual o funcionalmente el defecto, desconectar el circuito afectado y verificar la ausencia de peligro para las personas o las instalaciones, reparar el elemento dañado o sustituirlo por otro de las mismas características y reponer la tensión y comprobar el normal funcionamiento de la instalación.
- c) Desconectar el circuito afectado y verificar la ausencia de peligro para las personas o las instalaciones, comprobar visual o funcionalmente el defecto, reparar el elemento dañado o sustituirlo por otro de las mismas características y reponer la tensión y comprobar el normal funcionamiento de la instalación.

Actividades de aplicación

12.1. Enumera las obligaciones de los instaladores autorizados en baja tensión.

12.2. Enumera brevemente los pasos o requisitos a llevar a cabo para poder trabajar como instalador electricista autorizado de categoría especialista.

12.3. ¿Qué ocurriría si el interior de una pinza amperimétrica es atravesado por más de un conductor o por una manguera eléctrica?

12.4. ¿Qué es un multímetro? ¿Qué es un comprobador de instalaciones? ¿Qué es un analizador de redes? Explica brevemente las mediciones que es posible llevar a cabo con cada uno de ellos.

12.5. ¿Para qué tipo de labores de mantenimiento resulta muy útil una cámara termográfica? ¿Es obligatorio que un instalador o mantenedor de baja tensión disponga de este equipo?

12.6. Define brevemente los posibles tipos de mantenimiento existentes, poniendo un ejemplo de tareas desempeñadas en cada uno de ellos.

12.7. Enumera tres tareas de mantenimiento preventivo y tres tareas de mantenimiento correctivo que asociarías con las instalaciones de automatismos industriales.

12.8. Enumera las tareas básicas de mantenimiento a llevar a cabo en instalaciones de automatismos industriales.

12.9. Explica las tareas básicas de mantenimiento a llevar a cabo en motores eléctricos.

12.10. Enumera las anomalías y averías tipo más frecuentes asociadas a los componentes y dispositivos característicos de las instalaciones de automatismos industriales.

12.11. Expón brevemente todos los trámites necesarios para legalizar la instalación eléctrica de una industria de 170 kW de potencia en tu localidad, indicando en qué grupo se encontraría clasificada la instalación, así como toda la documentación técnica que deberías aportar.

12.12. Resume brevemente el proceso de distribución de las cinco copias de un certificado de instalación eléctrica.

Casos prácticos

12.1. Para llevar a cabo las labores de montaje y mantenimiento de las instalaciones eléctricas, es necesario saber realizar adecuadamente mediciones con el polímetro. A continuación vamos a analizar los pasos necesarios para llevar a cabo correctamente mediciones de resistencia y tensión con este dispositivo.

Medición de continuidad y resistencia en bornes de un motor

a) Coloca las puntas de prueba del polímetro tal y como se muestra en la siguiente imagen:

b) Selecciona en la ruleta la opción de *medición de continuidad*.

c) Une las puntas de prueba. Debe sonar un pitido y el polímetro marcará un valor de resistencia muy bajo. Acabas de comprobar la continuidad entre las puntas de prueba.

d) Selecciona en la ruleta la opción de *resistencia*.

e) Comprueba el valor de resistencia de un fusible, un trozo de cable, una clema de conexión, la bobina de un contactor y varios contactos auxiliares de tipo NO y NC, reduciendo o aumentando el fondo de escala hasta que se muestre un valor válido.

f) A continuación, realiza la medición de la resistencia entre los bornes de un motor trifásico para la conexión estrella-triángulo. Anota los resultados obtenidos.

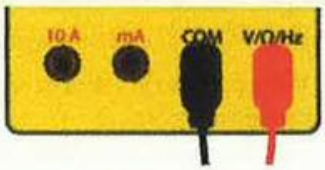
Bornes medidos	Valor de la resistencia
U1-V1	
U1-W1	
U1-U2	
U1-V2	
U1-W2	
V1-W1	
V1-U2	
V1-V2	
V1-W2	
W1-U2	
W1-V2	
W1-W2	

g) Analiza los resultados obtenidos y compáralos con el resto de tus compañeros. ¿Encontráis alguna variación entre todas las medidas obtenidas?

h) Explica los resultados obtenidos al medir en bornes del motor. ¿Has obtenido los valores que esperabas?

Medición de tensión

a) Coloca las puntas de prueba del polímetro tal y como se muestra en la siguiente imagen:

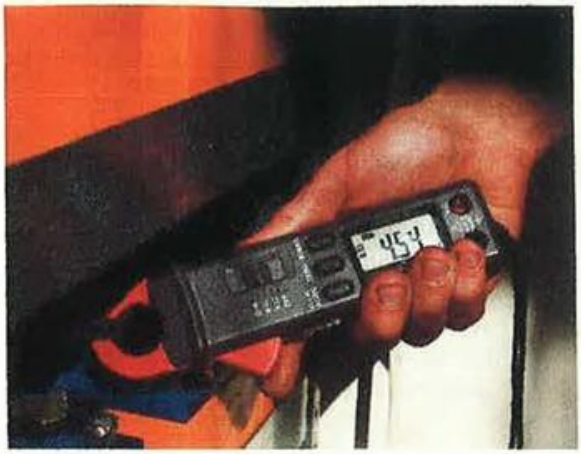


b) Selecciona en la ruleta la opción de *tensión en corriente alterna*, ubicando el fondo de escala **en el valor más elevado**, para evitar dañar el instrumento de medida.

c) Comprueba el valor de tensión de la base de toma de corriente, reduciendo el fondo de escala hasta que se muestre un valor válido. Recuerda que para realizar mediciones de circuitos en tensión debes extremar las medidas de seguridad.

d) Anota los resultados obtenidos y compáralos con el resto de tus compañeros. ¿Encontráis alguna variación entre todas las medidas obtenidas?

12.2. Analiza la siguiente imagen y responde a las preguntas que se exponen a continuación:



a) ¿Qué tipo de equipo de medida se muestra en la imagen?

b) ¿Cuál es su principio de funcionamiento?

c) ¿Para qué se utiliza?

d) ¿En qué labores de mantenimiento puede resultar de utilidad?

e) ¿Qué ocurriría si por el interior del equipo de medida expuesto discurriesen dos cables?

12.3. Elabora un manual de mantenimiento referente a una instalación de puesta a tierra en un edificio de viviendas. El contenido mínimo del manual debe ser el siguiente:

- Precauciones, prescripciones y prohibiciones asociadas.
- Mantenimiento a llevar a cabo por el usuario de la instalación.
- Mantenimiento a llevar a cabo por el profesional cualificado.

12.4. Busca en internet información acerca de si la delegación provincial de industria correspondiente a tu lugar de residencia permite realizar tramitaciones telemáticas de las instalaciones eléctricas, y en caso afirmativo, qué requisitos y documentos deben presentarse.

Seguridad, prevención de riesgos y protección ambiental

13

Las instalaciones eléctricas, y más específicamente las relacionadas con los automatismos industriales, suponen un riesgo potencial para las personas que las utilizan o trabajan en ellas.

En esta unidad se estudiarán los criterios, técnicas, materiales y equipos que es necesario conocer para garantizar la seguridad y prevención de riesgos laborales en los trabajos de montaje, mantenimiento y uso de las instalaciones eléctricas industriales, asegurando, en todo momento, que se cumplen los requisitos de protección del entorno medioambiental.

Contenidos

- 13.1. Prevención de riesgos laborales
- 13.2. El riesgo eléctrico
- 13.3. Equipos, materiales y dispositivos de seguridad
- 13.4. Métodos de trabajo en las instalaciones eléctricas
- 13.5. Medidas de protección ambiental

Objetivos

- Dar a conocer el concepto de prevención de riesgos laborales.
- Definir las situaciones de riesgo más importantes a las que pueden verse expuestos los usuarios de las instalaciones eléctricas.
- Analizar e identificar los equipos, materiales y dispositivos de seguridad presentes en las instalaciones eléctricas industriales.
- Dar a conocer la prevención de riesgos laborales, así como los métodos de trabajo en instalaciones eléctricas y en altura.
- Establecer las medidas y pautas básicas de protección ambiental.

13.1. Prevención de riesgos laborales

El marco general en materia de prevención de riesgos laborales conlleva la necesidad de desarrollar una política de protección de la salud mediante actuaciones dirigidas a la promoción de la mejora de las condiciones de trabajo, para elevar así el nivel de seguridad de los trabajadores.

El artículo 40.2 de la Constitución Española encomienda a los poderes públicos velar por la seguridad e higiene en el trabajo. Este mandato constitucional unido a los compromisos contraídos por el Estado con la Organización Internacional del Trabajo sobre seguridad y salud de los trabajadores y las Directivas desarrolladas por la Unión Europea sobre el estudio y tratamiento de la prevención de los riesgos derivados del trabajo, siendo la más significativa la *Directiva 89/391/CEE, relativa a la aplicación de las medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo*, promovieron la creación de una serie de disposiciones legales de entre las que destacan fundamentalmente las siguientes:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de **Prevención de Riesgos Laborales** (LPRL), que define el marco en el que habrán de desarrollarse las distintas acciones preventivas cuyo objetivo es el de mejorar progresivamente las condiciones de trabajo.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el **Reglamento de los Servicios de Prevención**, que aborda los planes de prevención de riesgos laborales y la evaluación de los riesgos laborales en función del tamaño de cada empresa y de la peligrosidad de las actividades desarrolladas en la misma.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los **lugares de trabajo**.
- Real Decreto 487/1997 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las **obras de construcción**.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al **riesgo eléctrico**.
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifica el Reglamento de los servicios de prevención.

En lo referente al entorno normativo relacionado con la prevención de riesgos laborales, destacan las **guías técnicas** desarrolladas por el **Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo** (INSHT), a través de las cuales se pretende ofrecer una interpretación adecuada, orientativa y no vinculante de todos los reglamentos derivados de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

13.1.1. Obligaciones generales del empresario

El empresario adoptará las medidas necesarias para que la utilización de los lugares de trabajo no origine riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores o, si ello no fuera posible, para que tales riesgos se reduzcan al mínimo, transmitiendo a su personal el contenido de estas medidas en todo aquello que les pueda afectar.

En cualquier caso, los lugares de trabajo deberán cumplir las disposiciones mínimas establecidas, en cuanto a sus condiciones constructivas, orden, limpieza y mantenimiento, señalización, instalaciones de servicio o protección, condiciones ambientales, iluminación, servicios higiénicos y locales de descanso, y material y locales de primeros auxilios.

El empresario debe elaborar y conservar la documentación específica referente a prevención de riesgos laborales, que se estructura en:

a) Plan de prevención de riesgos laborales.

b) Evaluación de los riesgos para la seguridad y la salud en el trabajo, incluido el resultado de los controles periódicos de las condiciones de trabajo y de la actividad de los trabajadores.

Figura 13.1. *Estructura del sistema de prevención de riesgos laborales.*

c) Planificación de la actividad preventiva, incluidas las medidas de protección y de prevención a adoptar y, en su caso, material de protección que deba utilizarse.

d) Práctica de los controles del estado de salud de los trabajadores y conclusiones obtenidas de los mismos.

e) Relación de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales que hayan causado al trabajador una incapacidad laboral superior a un día de trabajo.

13.1.2. Derechos y obligaciones de los trabajadores

Cada trabajador debe velar tanto por su propia seguridad y salud en el trabajo, como por la de aquellas personas a las que pueda afectar su actividad profesional, de acuerdo con su formación y con las instrucciones del empresario. Concretamente, a los trabajadores les corresponden los siguientes **deberes**:

- Usar adecuadamente las máquinas, aparatos, herramientas, sustancias peligrosas, equipos de transporte y cualquier otro medio con el que desarrolla su actividad.
- Utilizar correctamente los medios y equipos de protección entregados de forma correcta.
- No poner fuera de funcionamiento y utilizar correctamente los dispositivos de seguridad relacionados con su actividad.
- Informar de inmediato a su superior y a los trabajadores designados para realizar las actividades de protección y prevención acerca de cualquier situación que entrañe un riesgo para la seguridad, pudiendo interrumpir la actividad si esta constituyera un peligro para la salud y la seguridad de los trabajadores.
- Contribuir al cumplimento de las obligaciones establecidas por la autoridad competente con el fin de proteger la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo.
- Cooperar con el empresario para que pueda garantizar unas condiciones de trabajo que sean seguras y exentas de riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores.

Los empleados tienen también derechos en materia de prevención laboral que el empresario debe garantizar, asegurando que el trabajo se realice en un entorno seguro y saludable. Concretamente, a los trabajadores les corresponden los siguientes **derechos**:

- Ser informado sobre los riesgos para la seguridad y salud derivados de su puesto de trabajo, las medidas de protección y prevención asociadas a dichos riesgos así como las medidas a adoptar ante situaciones de emergencia.
- Disponer de los equipos de trabajo y medios de protección individual adecuados a su puesto de trabajo.
- Disponer de las medidas de emergencia acordes al tamaño y actividad de la empresa.
- Paralizar su actividad e incluso abandonar su lugar de trabajo en caso de riesgo grave e inminente.
- Disponer de las medidas de vigilancia y control de la salud en función de los riesgos, con la realización de reconocimientos médicos periódicos
- Ser consultados y participar en aquellas cuestiones en materia de prevención de riesgos laborales que afecten a la seguridad y la salud.
- Protección de la maternidad.
- Protección de los trabajadores que por sus propias características personales sean especialmente sensibles a determinados riesgos derivados del trabajo.

13.1.3. Prevención de riesgos laborales en los procesos de montaje y mantenimiento

Un riesgo potencial queda definido como la severidad de los daños vinculados a un peligro determinado multiplicada por su probabilidad de ocurrencia.

Figura 13.2. *Definición genérica de riesgo.*

Para valorar los riesgos asociados a una determinada actividad y dar cumplimiento a toda la legislación vigente referida a seguridad, salud y riesgos laborales, resulta necesario elaborar un **plan de prevención de riesgos laborales** en el que se analicen las normas de seguridad aplicables, se identifiquen los riesgos laborales que pueden ser evitados (especificando las medidas técnicas necesarias para evitar dichos riesgos) y se elabore una relación de los riesgos laborales que no pueden eliminarse, indicando su probabilidad y gravedad así como las medidas preventivas y protecciones técnicas para controlarlos, evaluando finalmente la eficacia de las soluciones propuestas.

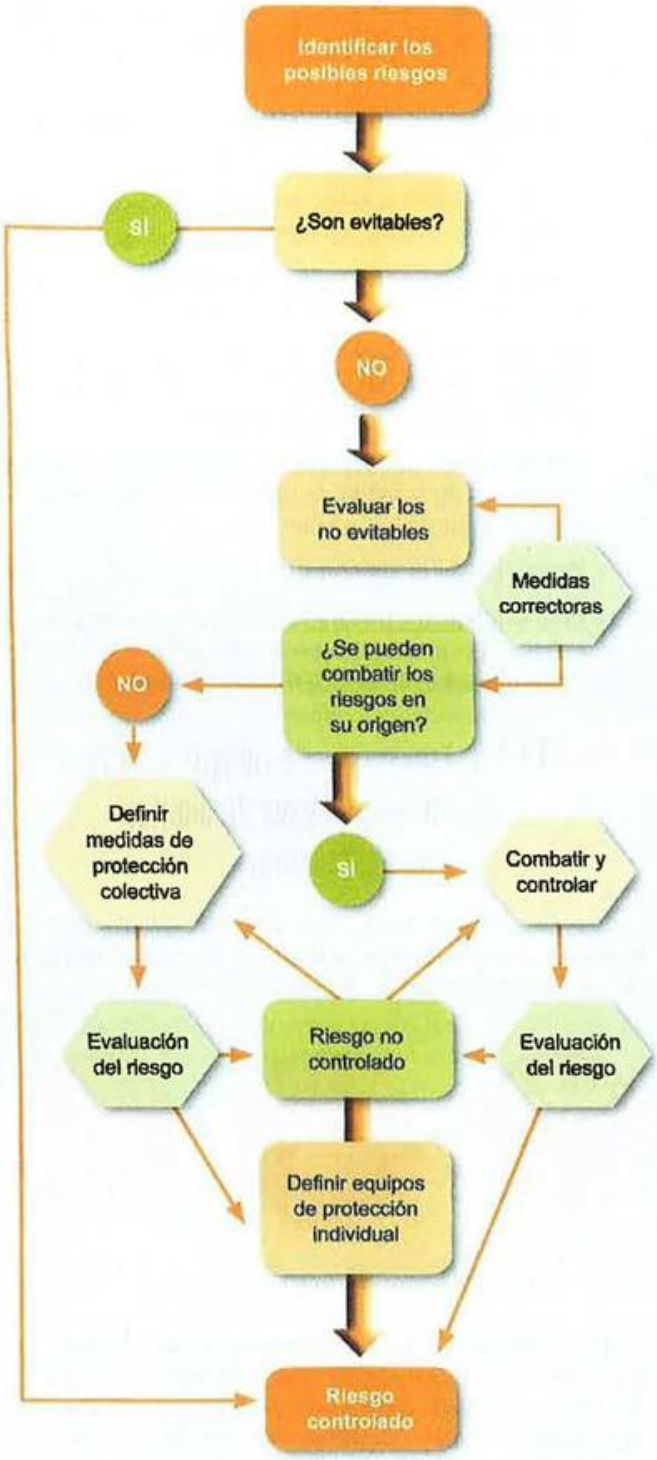


Figura 13.1. *Proceso de análisis e identificación de riesgos.*

Los principales riesgos laborales asociados a las tareas de montaje y mantenimiento de instalaciones eléctricas en entornos industriales que pueden afectar a la seguridad y salud de los trabajadores se muestran en la Tabla 13.1:

Tabla 13.1. Riesgos laborales derivados de los procesos de montaje y mantenimiento en instalaciones de automatismos industriales.

Tipo de riesgo	Causa más probable
Riesgo de caídas a distinto nivel	Uso de escaleras manuales y trabajos en azoteas y tejados
Riesgo de caídas al mismo nivel	Cables y materiales diversos en zonas de paso, rachas de viento o superficies mojadas
Riesgo de caídas de objetos suspendidos o desprendidos	Uso de herramientas manuales, materiales y equipos eléctricos portátiles
Riesgo de corte	Uso de herramientas manuales, materiales y equipos eléctricos portátiles
Riesgo de exposición a contactos eléctricos en baja tensión	Utilización de corriente eléctrica para diferentes aplicaciones
Riesgo de exposición a contactos eléctricos en alta tensión	Utilización de corriente eléctrica o proximidad a instalaciones eléctricas
Riesgo de incendios	Utilización de corriente eléctrica o materiales inflamables
Riesgo de pisada sobre objetos	Desplazamiento en las zonas en obras o donde se está realizando la instalación
Golpes y choques contra objetos inmóviles	Desplazamiento en las zonas en obras o donde se está realizando la instalación
Riesgo de atrapamiento	Acceso a zonas en mal estado
Riesgo de atropellos o golpes con vehículos	Desplazamientos hacia las instalaciones o almacenes de material
Riesgo de sobreesfuerzos	Manejo manual de cargas
Proyección de fragmentos o partículas	Corte de cables metálicos, perfiles, tubos con radial o realización de taladros
Exposición a condiciones atmosféricas adversas	Montaje de instalaciones en el exterior
Exposición a radiaciones no ionizantes	Existencia de radiofrecuencias en las instalaciones de antenas
Inhalación, ingestión o contacto con sustancias químicas nocivas utilizadas en los procesos de instalación	

Las reglas generales de actuación para la prevención de los riesgos laborales expuestos en la tabla anterior son las siguientes:

- Identificar los posibles riegos y el nivel de peligrosidad del puesto de trabajo.
- Identificar las causas más frecuentes de accidente en la manipulación de materiales y herramientas.
- Determinar las medidas de seguridad y protección que se deben adoptar en la ejecución de tareas de montaje y mantenimiento.
- Hacer uso de los materiales y equipos de protección individual adecuados en función del tipo de trabajo.
- Utilizar los equipos y máquinas eléctricas respetando las normas de seguridad.
- Respetar las medidas preventivas, señalización, recomendaciones y prohibiciones de uso.
- Mantener el orden y limpieza de instalaciones y equipos.
- Llevar a cabo un adecuado mantenimiento de los equipos y materiales.

Figura 13.4. *Respetar las prohibiciones de uso es una medida de prevención de riesgos laborales.*

13.1.4. El plan de prevención de riesgos laborales

El plan de prevención de riesgos laborales es aquel documento que debe dar cumplimiento a toda la legislación vigente referente a seguridad, salud y riesgos laborales.

Dicho documento debe especificar los siguientes aspectos:

- Normas de seguridad aplicables en la obra.
- Identificación de los riesgos laborales que pueden ser evitados.
- Medidas técnicas necesarias para evitar dichos riesgos.
- Relación de los riesgos laborales que no pueden eliminarse, indicando su probabilidad y gravedad.
- Medidas preventivas, medidas de organización y protecciones técnicas para controlar y reducir riesgos.
- Valoración de la eficacia de las medidas propuestas.
- Previsiones e informaciones útiles para efectuar los previsibles trabajos posteriores.

SABÍAS QUE

El objetivo básico de todo plan de prevención de riesgos laborales es certificar que se cumplan los supuestos mínimos de la ley de prevención de riesgos laborales.

Para llevar a cabo una adecuada **identificación de riesgos y prevención de los mismos**, todo plan de prevención laboral estará basado en un método de análisis que estime los niveles de riesgo con respecto a su probabilidad estimada en relación con la severidad de las consecuencias esperadas.

Tabla 13.2. Relación estimada de probabilidad-severidad.

	Ligeramente dañino	Dañino	Extremadamente dañino
Probabilidad baja	Trivial	Riesgo tolerable	Riesgo moderado
Probabilidad media	Riesgo tolerable	Riesgo moderado	Riesgo importante
Probabilidad alta	Riesgo moderado	Riesgo importante	Riesgo intolerable

Tal como puede apreciarse en la tabla anterior, las probabilidades de riesgo pueden clasificarse en tres niveles distintos (alta, media o baja) que dependerán del propio riesgo así como de la tarea a desempeñar y de la zona de trabajo. En lo que respecta al posible daño producido como consecuencia de la severidad del riesgo, estos pueden clasificarse en ligeramente dañinos (cuando son **leves**), dañinos (cuando son **graves**) o extremadamente dañinos (cuando son **muy graves**).

De esta evaluación probabilidad-severidad se deducirá si cada uno de los riesgos puede ser considerado como trivial, tolerable, moderado, importante o intolerable, definiéndose las medidas de organización y protección necesarias para evitarlos o disminuir su severidad.

A continuación, en la Tabla 13.3, se muestra un ejemplo de plan de prevención de riesgos laborales para instaladores electricistas de baja tensión en el que se analiza, estudia y desarrolla los aspectos fundamentales de un estudio básico de seguridad y salud en función del grado de riesgo y su posible prevención.

Tabla 13.3 Estudio de prevención de riesgos laborales para instaladores electricistas en baja tensión.

Riesgo	Val. prob.	Val. grav.	Medidas de organización y sistemas colectivos	EPI
Caídas a distinto nivel	Probabilidad media	Grave	• Retirar todos los elementos, usados como apoyo para subir, que no reúnan suficiente estabilidad (sillas, cajas…) • Las escaleras de mano estarán provistas de zapatas, puntas de hierro, grapas u otro mecanismo antideslizante, o de ganchos de sujeción en la parte superior, que aseguren la estabilidad • Suba y baje de la escalera de frente a ella, nunca de espaldas, y utilice calzado antideslizante homologado (con marcado CE) • Las herramientas o materiales que están utilizando durante el trabajo en una escalera manual nunca se dejarán sobre los peldaños, sino que se colocarán en una bolsa sujeta a la escalera, colgada en un hombro o sujeta a la cintura. No transporte ni manipule cargas por o desde escaleras de mano cuando su peso o dimensiones puedan comprometer su seguridad. No se incline para alcanzar lugares apartados lateralmente, ni mueva la escalera estando subido/a a ella. Baje y coloque nuevamente la escalera en lugar apropiado • Nunca pase de un lado a otro de una escalera de tijera por su parte superior, ni trabaje sobre ella a "caballo". Nunca mueva la escalera de mano con un trabajador/a sobre ella y no la utilice conjuntamente con un segundo operario/a • Antes de utilizar una escalera, revise que los peldaños y sus zapatos estén limpios, en especial de grasas, aceite, ceras o cualquier otra sustancia resbaladiza	
Caídas al mismo nivel	Probabilidad baja	Leve	• Mantener la limpieza y el orden dentro de la obra • Utilizar los pasos y vías existentes	• Calzado con suela antideslizante
Golpes, cortes y pinchazos con herramientas o materiales	Probabilidad alta	Leve	• Utilizar para cada trabajo la herramienta adecuada • Mantener las herramientas limpias y en perfecto estado de uso, revisar que los mangos no estén flojos ni mal ajustados, desechar las defectuosas • Las que sean cortantes y punzantes se guardarán en fundas adecuadas, nunca en los bolsillos • Mantener los bancos de trabajo limpios y ordenados y las herramientas alojadas en fundas adecuadas	• Guantes de cuero • Calzado de seguridad
Sobreesfuerzos	Probabilidad media	Leve	• Cuando haya que manipular cargas elevadas, se utilizarán los equipos auxiliares adecuados • Si no es posible, se manipularán las cargas entre varias personas • Se instruirá al personal sobre los métodos correctos de manipulación de cargas	• Fajas antilumbago
Caídas de objetos	Probabilidad media	Leve	• Evitar dejar objetos abandonados por el suelo • Utilizar cinturones portaherramientas • Instalar plataformas que limiten la caída de objetos y que protejan los tajos inferiores	• Casco de protección

Riesgo	Val. prob.	Val. grav.	Medidas de organización y sistemas colectivos	EPI
Electrocución durante las pruebas de la instalación	Probabilidad media	Muy grave	• Instalar como último cableado el que vaya del cuadro general al de la compañía suministradora y mantener los mecanismos necesarios para esta instalación en lugar seguro hasta su montaje, evitando así conexiones accidentales de la red • Antes de hacer entrar en carga la instalación, realizar una inspección de las conexiones de los mecanismos, protecciones y empalmes • Antes de hacer entrar en carga la instalación, comprobar la existencia de la banqueta de maniobras, extintores de polvo químico seco y botiquín • Se efectuará la prueba para comprobar si los automáticos (disyuntores) funcionan y "cortan" con la intensidad prevista. Esta prueba se llevará a cabo estando bajo tensión pero sin carga • Los electricistas encargados de la instalación, montaje y pruebas estarán en posesión del correspondiente carné profesional	• Guantes aislantes • Calzado de protección con suela aislante
Electrocución durante los trabajos	Probabilidad baja	Muy grave	• Durante las reparaciones se debe colocar en el interruptor principal un cartel "NO TOCAR-PELIGRO-PERSONAS TRABAJANDO". Si es posible, se cerrará con un candado el interruptor o se quitarán los fusibles • Antes de utilizar cualquier aparato o instalación eléctrica, hay que asegurarse de su perfecto estado (cables, clavijas, carcasas de protección, etc.). Trabajar con cuidado de no dañar estos elementos • Los cuadros de protección serán normalizados. Los cuadros eléctricos metálicos tendrán las carcasas puestas a tierra, estarán señalizados con "Peligro. Electricidad" o aviso similar • La toma de corriente de los cuadros se hará mediante clavijas normalizadas, tanto en la clavija "hembra" como en la «macho» • La tensión siempre estará en la clavija "hembra" • El neutro de la instalación o grupo estará puesto a tierra • Los cables de colores amarillos y verdes solo se emplearán para la toma de tierra • Seguir las instrucciones de uso dictadas por el fabricante • El circuito al cual se conecten las herramientas debe estar protegido por un interruptor diferencial de 0,03 A de sensibilidad • Si se usan cables de extensión, las conexiones se harán comenzando por la máquina y siguiendo hacia la toma de corriente • No utilizar máquinas eléctricas si se tienen las manos o los pies mojados, o si la propia máquina está mojada • Proteger con material aislante normalizado todas las herramientas que vayan a utilizar los instaladores • Si se trabaja en ambientes húmedos, asegurarse de que se utilizan aparatos con las condiciones de protección indicadas para estos casos en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión	• Guantes aislantes • Calzado de protección con suela aislante

13.1.5. Coordinador en materia de seguridad y salud

El plan de prevención de riesgos laborales deberá ser aprobado, antes del inicio de cualquier obra, por el coordinador en materia de seguridad y salud. Asimismo, y durante la ejecución de la obra, el coordinador en materia de seguridad y salud deberá desarrollar las siguientes funciones:

- Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y seguridad.
- Coordinar las actividades de la obra para garantizar que las empresas y los trabajadores apliquen de manera coherente y responsable los principios de acción preventiva.
- Organizar la coordinación de actividades empresariales.
- Coordinar las acciones y funciones de control de la aplicación correcta de los métodos de trabajo.
- Adoptar las medidas necesarias para que solo las personas autorizadas puedan acceder a la obra.

Quienes intervienen en la ejecución de la obra, así como las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención en las empresas intervinientes en la misma y los representantes de los trabajadores, podrán presentar por escrito y de manera razonada, las sugerencias y alternativas que estimen oportunas.

13.2. El riesgo eléctrico

El **riesgo eléctrico ha quedado definido en unidades previas** como la posibilidad de que una persona o animal sufra una determinada lesión producida por el efecto nocivo de la energía eléctrica.

Dado que las **instalaciones de automatismos industriales** utilizan la electricidad para el correcto funcionamiento de todos sus componentes, es necesario tener en cuenta este factor de riesgo así como conocer y aplicar las medidas de seguridad necesarias a la hora de realizar trabajos de montaje y mantenimiento.

Figura 13.5. *Señal de advertencia de riesgo eléctrico.*

Las situaciones de peligro asociadas a las instalaciones eléctricas pueden desencadenarse como consecuencia de:

- **Contactos eléctricos** en personas y animales, que pueden ser de tipo directo o indirecto:
  - **Contacto directo:** contactos con los conductores activos (fases o neutro) o piezas metálicas de la instalación normalmente en tensión.
  - **Contacto indirecto:** contactos de las personas con partes metálicas que accidentalmente se han puesto bajo tensión (*masas*) como consecuencia de un defecto de aislamiento.

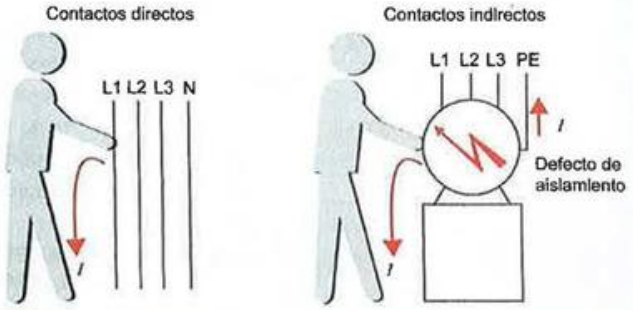


Figura 13.6. *Contactos directos e indirectos.*

- **Incendios y explosiones** en materiales y equipos producidos por cortocircuitos, chispas por malos contactos, sobrecargas muy elevadas en los dispositivos eléctricos y conductores que acaban quemando el aislante o cualquier material inflamable cercano, sobretensiones, contactos defectuosos o derivaciones.

SABÍAS QUE

Una corriente eléctrica de tan solo 5 mA, aplicada durante más de 2 segundos, es suficiente para producir contracciones musculares en el cuerpo de un adulto.

De los principales motivos que exponen a los usuarios de las instalaciones eléctricas a los diferentes riesgos, destacan los siguientes:

- Falta de mantenimiento adecuado.
- Imprudencia, falta de atención.
- Desgaste y rotura del aislamiento.
- Flexión excesiva o abrasión de los cables de conexión.
- Contacto accidental.
- Condiciones de temperatura o humedad nocivas para los equipos.

13.2.1. Efectos de la electricidad sobre el organismo

Un **choque eléctrico** es el efecto resultante del paso de corriente eléctrica a través del cuerpo humano o de un animal, tras producirse un contacto eléctrico directo o indirecto. Las consecuencias que un choque eléctrico puede provocar en el organismo dependen del valor de la **intensidad** de corriente, del valor de la **tensión** y del **tiempo** de exposición o de contacto. También influye la trayectoria que sigue la corriente por el cuerpo y si es de tipo alterna o continua.

Dependiendo de estos factores, los efectos que puede sufrir una persona tras un choque eléctrico son los siguientes:

+ RIESGO –

- Pequeña percepción, cosquilleo y ligeros calambres.
- Enrojecimiento de la piel.
- Contracciones musculares que dificultan la respiración.
- Alteración del ritmo cardíaco.
- Caídas y golpes.
- Fibrilación ventricular y parada cardíaca.
- Parada respiratoria.
- Quemaduras y hemorragias.
- Fallecimiento.

El gráfico de la Figura 13.7 proporciona información sobre los efectos que produce en el cuerpo humano la circulación de una corriente eléctrica, en función de su magnitud y del tiempo de exposición.

RECUERDA

El valor de la intensidad eléctrica que se considera umbral de seguridad para una persona es igual a 30 mA (0,03 A).

Actividad propuesta 13.1

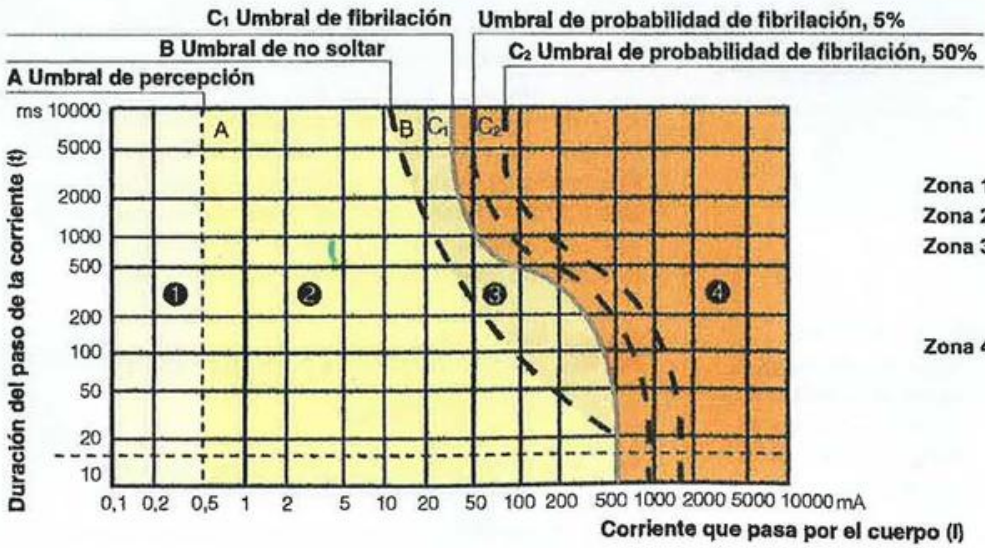
Analiza el gráfico mostrado en la Figura 13.7 y establece la *zona segura* o valor límite de intensidad a partir de la cual podrían producirse daños irreversibles en una persona como consecuencia de una descarga eléctrica.

¿Crees que esta zona segura tiene algo que ver con que la normativa actual referente a instalaciones eléctricas establezca un tiempo límite de actuación de 310 milisegundos para los interruptores diferenciales de 30 mA?

13.2.2. Respuesta ante un accidente eléctrico: primeros auxilios

Para socorrer a una persona que está sufriendo una descarga eléctrica es necesario conocer las pautas básicas de actuación, que aplicadas adecuadamente, pueden llegar a salvar vidas. Estas son:

- **Nunca hay que tocar a una persona que está sufriendo una descarga eléctrica.**
- Debe desconectarse la fuente de tensión o el interruptor automático que alimenta al circuito donde se ha producido el accidente.



Zona 1: Ninguna reacción.
Zona 2: Efectos no peligrosos.
Zona 3: Daños reversibles (contracción muscular, fibrilación, dificultad para respirar, parada cardiaca temporal, etc.).
Zona 4: Daños muy graves o irreversibles (parada cardiaca, parada respiratoria, quemaduras severas, etc.).

Figura 13.7. *Efectos de la electricidad en el organismo. (Cortesía de Schneider Electric.)*

- Si no es posible desconectar la alimentación se separará a la persona de la instalación eléctrica mediante un material aislante (madera, cuerda, etc.).
- Tras comprobar que el accidentado ya no se encuentra bajo contacto eléctrico, hay que avisar a los servicios de emergencia (médico, policía y bomberos) informando de que se trata de un accidente eléctrico.
- En caso de electrocución por alta tensión, es necesario contactar con un especialista que cuente con los medios de protección adecuados.

Los choques eléctricos pueden producir una parada cardíaca o la asfixia, en cuyo caso habría que proceder a realizar la **respiración de salvamento**, tal como se indica a continuación, hasta que la víctima sea atendida por personal sanitario.

Tabla 13.4. Respiración de salvamento.

	1. Colocar a la víctima tumbada, en posición horizontal y reclinar su cabeza hacia atrás comprobando que la lengua no obstruya el paso del aire.
	2. Tras liberar las vías respiratorias, si la víctima no mejora, debe realizarse la respiración boca a boca.
	3. Aplicar, junto con la respiración boca a boca, la técnica del masaje cardíaco comprimiendo el tórax del afectado a un ritmo de 60 veces por minuto.

13.2.3. Accidentado en llamas

Es posible que se produzcan incendios en las instalaciones eléctricas como consecuencia de un defecto de aislamiento o una descarga eléctrica.

En caso de que alguna persona resulte afectada por las llamas es necesario seguir las siguientes indicaciones:

1. Cubrir al accidentado con una manta o chaqueta.
2. Enfriar con agua el cuerpo de la víctima.
3. No retirar la ropa del cuerpo en las zonas afectadas por las llamas.
4. Avisar a los servicios de emergencia (médico, policía y bomberos) y trasladar a la víctima con urgencia.

RECUERDA

No se debe tocar a una persona que está sufriendo una descarga eléctrica, pues la electricidad nos afectaría a nosotros también.

13.3. Equipos, materiales y dispositivos de seguridad

Los elementos, equipos y dispositivos de seguridad asociados al entorno de trabajo tienen el objetivo de prevenir o evitar las consecuencias de una situación de peligro que pueda afectar a las personas o a las instalaciones. Las medidas y dispositivos de seguridad asociados al ámbito laboral son, por ejemplo, la señalización de riesgos, las alarmas acústicas y luminosas, el uso de equipamiento adecuado, etc.

Para garantizar el máximo nivel de seguridad a la hora de realizar trabajos en instalaciones de automatismos industriales, todos los operarios deben utilizar una serie de materiales, herramientas y equipos de protección individual con el objetivo de minimizar los riesgos laborales. Además, para cumplir este objetivo de seguridad, será también conveniente (y en algunos casos obligatorio) el uso de dispositivos electrónicos de seguridad asociados a la propia instalación eléctrica.

13.3.1. Materiales y equipos de protección individual

Se define como **Equipo de Protección Individual (EPI)** el destinado a ser llevado o sujetado por el trabajador para que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o su salud, así como cualquier complemento o accesorio destinado a tal fin.

A continuación se muestran algunos de los equipos y materiales de protección individual más utilizados durante los trabajos de montaje y mantenimiento:

- **Guantes de protección:** protegen las manos frente a las posibles agresiones mecánicas, eléctricas, térmicas o químicas, dependiendo del tipo de trabajo a desarrollar. Los guantes aislantes para instalaciones de baja tensión serán generalmente de **clase 00** (aislamiento hasta 500 V_{CA}) o de **clase 0** (aislamiento hasta 1000 V_{CA}).

Figura 13.8. *Guantes de protección mecánica.*

Figura 13.9. *Guantes de protección eléctrica de clase 00.*

- **Casco:** protege la cabeza y el cráneo frente a los riesgos de golpes, caídas, proyección de objetos y descargas eléctricas.

Figura 13.10. *Casco de protección.*

- **Gafas de seguridad:** protegen los ojos frente a impactos y frente a radiaciones ultravioletas e infrarrojas que pueden producirse por un resplandor generado como consecuencia de un cortocircuito.

Figura 13.11. *Gafas de seguridad.*

- **Calzado de seguridad:** protege los pies frente al riesgo de caída de objetos, golpes, aplastamiento o aprisionamiento, etc. Dependiendo del tipo de trabajo eléctrico a realizar, será necesario utilizar calzado aislante, calzado antiestático, calzado conductor o de alta resistencia eléctrica.

Figura 13.12. *Botas de seguridad.*

- **Ropa de trabajo:** la indumentaria de trabajo debe ser cómoda, no inflamable y no ofrecer peligro de enganche.

Figura 13.13. *Mono de trabajo.*

- **Pantallas faciales:** permiten proteger la cara y los ojos contra arcos eléctricos provocados por cortocircuitos.

Figura 13.14. *Pantalla facial y casco.*

- **Cascos de protección auditiva:** no es muy común su uso por el instalador electricista, pero en determinados entornos industriales puede llegar a resultar necesario, ya que protege los oídos frente a sonidos potencialmente dañinos (generalmente por encima de 85 dB), atenuándolos.

Figura 13.15. *Casco antiruido.*

Todos los equipos de protección individual deben cumplir las exigencias expuestas en el Real Decreto 773/1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. También será de obligado cumplimiento el Real Decreto 1215/1997, sobre utilización de equipos de trabajo.

Asimismo, dependiendo del uso y función para el que vayan a ser destinados los EPI, han de tenerse en consideración otras normas específicas, como por ejemplo las que se exponen a continuación:

- Norma UNE-EN 50365, sobre cascos eléctricamente aislantes para utilización en instalaciones de baja tensión.
- Norma UNE-EN 166, sobre protección individual de los ojos, incluyendo arco eléctrico.
- Norma UNE-EN 50286, sobre ropa aislante de protección para trabajos en instalaciones de baja tensión.
- Norma UNE-EN 60903, sobre guantes y manoplas de material aislante para trabajos eléctricos.
- Norma UNE-EN ISO 20345/6/7, sobre calzado de trabajo aislante.

En lo que respecta a los **elementos y materiales de seguridad** asociados a las tareas propias de los instaladores y mantenedores electricistas, tienen el objetivo de prevenir o evitar las consecuencias de una situación de peligro que pueda afectar a las personas o a las instalaciones. Los elementos de seguridad más utilizados en las instalaciones de automatismos industriales son los siguientes:

- **Herramientas de empuñadura aislante:** todas las herramientas del instalador electricista deben tener un aislamiento mínimo de 1.000 voltios.
- **Capuchones, vainas y cinta aislante:** se utilizan para aislar *provisionalmente* conductores o empalmes desnudos o dañados.
- **Material de señalización:** necesario para indicar o advertir a otras personas que se está trabajando, por ejemplo, sobre un circuito eléctrico.

Figura 13.16. *Material de señalización.*

- **Pértigas aislantes:** sirven para maniobrar a distancia con elementos que se encuentran en tensión.
- **Banquetas y alfombrillas aislantes:** se utilizan para aislar a los operarios del suelo, garantizando un aislamiento eléctrico adicional.

Figura 13.17. *Banqueta aislante, de uso obligatorio en centros de transformación.*

RECUERDA

Las conexiones entre conductores por retorcimiento y cinta aislante en las instalaciones eléctricas están prohibidas. Únicamente pueden realizarse de manera provisional durante las labores de instalación y mantenimiento.

13.3.2. Señalización de seguridad

Para prevenir las consecuencias de una situación de peligro potencial se utilizan señales de seguridad en forma de panel, cuyo objetivo es advertir a las personas que se encuentran en las proximidades de una zona de riesgo que deben evitarla, extremar las precauciones o tomar las medidas de protección adecuadas. Estas señales se clasifican por su función en los siguientes grupos:

- Advertencia.
- Prohibición.
- Obligación.
- Salvamento.
- Socorro.
- Lucha contra incendios.

Figura 13.18. *Diferentes modelos de señales de seguridad.*

La señalización de seguridad debe estar justificada y ser creíble, sin resultar excesiva. La instalación se realizará a una altura y posición apropiadas teniendo en cuenta posibles obstáculos en la proximidad del riesgo u objeto que deba señalizarse y en el acceso a la zona de peligro.

Todas las señales de seguridad se mantendrán en perfectas condiciones, debiendo revisarse periódicamente y sustituirse siempre que presenten deterioros que comprometan su localización, identificación, interpretación o puedan provocar situaciones de riesgo.

La combinación de los colores de seguridad y de contraste asociados a este tipo de elementos, posee un significado determinado, que se resume en la siguiente figura:

Figura 13.19. *Significado del código de colores utilizado en las señales de seguridad.*

SABÍAS QUE

La señalización de seguridad está pensada para poder ser entendida por cualquier persona, independientemente del idioma.

También influye en el significado e interpretación de las señales la forma geométrica y la combinación interna de los colores, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 13.5. Geometría y color asociados a las señales de seguridad.

Tipo de señal de seguridad	Forma geométrica	Color			
		Pictograma	Fondo	Borde	Banda
Advertencia	Triangular	Negro	Amarillo	Negro	–
Prohibición	Redonda	Negro	Blanco	Rojo	Rojo
Obligación	Redonda	Blanco	Azul	Blanco o azul	–
Lucha contra incendios	Rectangular o cuadrada	Blanco	Rojo	–	–
Salvamento o socorro	Rectangular o cuadrada	Blanco	Verde	Blanco o verde	–

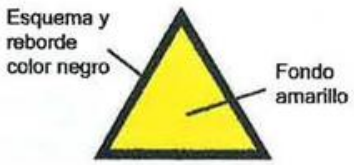


Figura 13.20. *Tipología de las señales de advertencia.*

Figura 13.21. *Tipología de las señales de prohibición.*

Figura 13.22. *Tipología de las señales de obligación.*

Actividad resuelta 13.1

Identifica en la siguiente tabla qué tipo de señales son las representadas (prohibición, advertencia u obligación) y el significado que crees que pueden tener:

Señal A	Señal B	Señal C	Señal D	Señal E	Señal F
Señal G	**Señal H**	**Señal I**	**Señal J**	**Señal K**	**Señal L**
Señal M	**Señal N**	**Señal O**	**Señal P**	**Señal Q**	**Señal R**
Señal S	**Señal T**	**Señal U**	**Señal V**	**Señal W**	**Señal X**

Solución:

A. Advertencia. Riesgo indeterminado.
B. Prohibición. Entrada prohibida a personas no autorizadas.
C. Obligación. Uso obligatorio de guantes.
D. Advertencia. Peligro por materias explosivas.
E. Prohibición. Prohibido apagar con agua.
F. Obligación. Uso obligatorio de arnés de seguridad.
G. Prohibición. Prohibido conectar sin autorización.
H. Advertencia. Riesgo de choque eléctrico.
I. Obligación. Obligatorio mantener cerrado.
J. Advertencia. Peligro de corte/Bordes afilados.
K. Obligación. Uso obligatorio de casco, protectores oculares y auditivos.
L. Advertencia. Atmósferas explosivas.
M. Prohibición. No tocar.
N. Prohibición. No conectar.
O. Obligación. Uso obligatorio de calzado antielectrostático.
P. Advertencia. Zona de campo magnético intenso.
Q. Prohibición. No tocar, cubierta bajo tensión.
R. Advertencia. Alta tensión.
S. Obligación. Uso obligatorio de guantes aislantes.
T. Advertencia. Dispositivos sensibles a cargas electrostáticas.
U. Prohibición. Prohibición general.
V. Advertencia. Radiación óptica.
W. Advertencia. Riesgo de caídas al mismo nivel.
X. Prohibición. Prohibido rociar con agua.

13.3.3. Alarmas acústicas y luminosas

Las alarmas acústicas y luminosas son un método alternativo de señalización o advertencia de situaciones anómalas o de peligro en el entorno laboral, mucho más efectivo que los pictogramas.

Este tipo de elementos de seguridad deben ser audibles y visibles de manera que cualquier persona que se encuentre en la zona de recepción pueda reconocerlas y reaccionar adecuadamente.

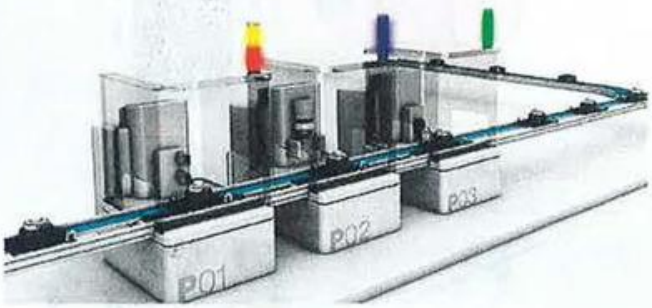


Figura 13.23. *Columnas luminosas modulares de LED. (Cortesía de Balluff.)*

Figura 13.24. *Difusores sonoros de alarma. (Cortesía de Banner.)*

El uso de las alarmas acústicas y luminosas puede estar asociado a situaciones de emergencia o evacuación, a señalización de zonas de alto riesgo o a los propios procesos industriales. En este último campo, resulta muy útil utilizar columnas luminosas de LED, que mediante un sencillo código de colores permiten analizar y optimizar los procesos de producción, controlando el estado de las máquinas asociadas.

13.3.4. Dispositivos y aparamenta de seguridad integrada y colectiva

A diferencia de los equipos de protección individual, existen dispositivos de seguridad que podrían ser denominados como *de protección colectiva,* ya que tienen la finalidad de proteger a varios trabajadores o minimizar los riegos a los que se exponen.

Figura 13.25. *Las vallas de resguardo de la maquinaria son un tipo de medida de seguridad colectiva pasiva.*

La mayoría de las protecciones colectivas están diseñadas para evitar el riesgo, otras sin embargo, solo lo controlan, evitando una posible lesión después de materializarse el riesgo.

Algunos ejemplos de protecciones colectivas pasivas son los resguardos de las máquinas, las barandillas, las redes de seguridad, las líneas de vida, las barras de protección, etc.

También existe un tipo de aparamenta específica que cumple la función de garantizar la seguridad colectiva de manera activa, aumentando la fiabilidad en los procesos industriales. Es lo que se conoce como **dispositivos de seguridad integrada**.

SABÍAS QUE

La norma EN ISO 13849-1 establece cinco categorías relativas a la seguridad en la maquinaria, que van desde la categoría B (cuando se produce un fallo, se puede perder la función de seguridad), hasta la categoría 4 (una acumulación de fallos sin detectar no debe producir la pérdida de la función de seguridad), pasando por las categorías intermedias 1, 2 y 3.

La maquinaria utilizada en el entorno de los automatismos industriales es una fuente de riesgo potencial. El funcionamiento seguro de las máquinas y sistemas utilizados en los procesos industriales se basa en dos principios fundamentales: mantener el riesgo dentro de unos límites aceptables y garantizar su fiabilidad de trabajo.

Los principales riesgos potenciales asociados a una máquina se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 13.6. Riesgos potenciales de una máquina industrial.

Riesgos mecánicos	Perforaciones Cortes Pinchazos Amputaciones Cizallamiento Atrapamiento Succión Impactos Aplastamiento
Riesgos eléctricos	Electrocución
Riesgos físicos	Quemaduras Descarga de sustancias nocivas o corrosivas

Una adecuada protección debe evitar que las personas entren en contacto con estos peligros potenciales, o bien reducirlos hasta un nivel seguro. Las diferentes protecciones podrán ser fijas, para cercar o distanciar el peligro, o móviles para que puedan accionarse automáticamente o enclavarse eléctricamente.

De entre los dispositivos de protección más utilizados como parte del sistema de protección de los procesos y la maquinaria, destacan los siguientes:

La parada de emergencia

La parada de emergencia está diseñada para reducir los posibles efectos de un peligro de tipo eléctrico o mecánico, tanto para las personas como para las instalaciones.

Mediante la **activación manual** de un dispositivo eléctrico de paro de emergencia, se desconecta inmediatamente el suministro eléctrico de un circuito, deteniendo el funcionamiento de la máquina que ha provocado la situación de peligro. Dicho dispositivo puede ser de dos tipos:

- Pulsador manual de paro de emergencia (también conocido como *seta*).
- Interruptor de tiro de emergencia por cable.

Figura 13.26. *Pulsador de paro de emergencia. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 13.27. *Pulsador de paro de emergencia integrado en un cuadro de control industrial.*

Figura 13.28. *Interruptor de emergencia por cable.*

Los sistemas de paro de emergencia actúan generalmente sobre el circuito de maniobra o sobre el controlador electrónico (PLC). Deben estar diseñados y ubicados para ser accesibles en cualquier circunstancia y estar disponibles sea cual sea el modo de funcionamiento.

Estos dispositivos basan su funcionamiento en el principio de **activación positiva**, es decir, una apertura de circuito directa donde los contactos son separados como resultado del movimiento del interruptor o pulsador.

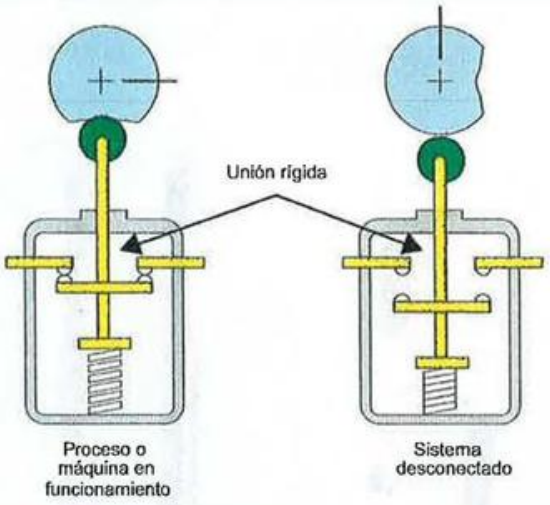
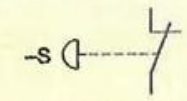
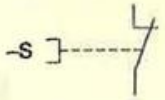


Figura 13.29. *Principio de funcionamiento de la activación positiva.*

Tabla 13.7. Simbología asociada a los sistemas de paro de emergencia.

Seta de emergencia	
Seta de emergencia con enclavamiento mecánico	
Interruptor de tiro de emergencia por cable	
Símbolo genérico del contacto con apertura directa	

Interruptores de enclavamiento

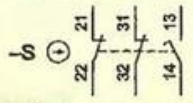
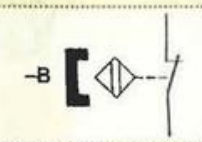
Estos dispositivos se utilizan para controlar la posición de las protecciones móviles de la maquinaria. Se protege, por tanto, a los operarios que interactúan con el proceso al detener el sistema en el momento que el interruptor se activa, ya sea al retirar el cabezal, al accionar la palanca, al accionar el pulsador, al abrir una tapa de protección, al girar una bisagra de protección, etc.

Figura 13.30. *Interruptores electromecánicos de seguridad. (Cortesía de Honeywell.)*

Figura 13.31. *Interruptores de enclavamiento con lengüeta. (Cortesía de Banner.)*

Figura 13.32. *Interruptor de seguridad tipo bisagra 180°. (Cortesía de Banner.)*

Tabla 13.8. Simbología asociada a los interruptores de enclavamiento.

Interruptor de enclavamiento mecánico (ejemplo con contacto tripolar NC+NC+NA)	
Interruptor de enclavamiento magnético	

Dispositivos de doble o triple accionamiento

Se trata de una medida de seguridad basada en mandos bimanuales e interruptores de pedal, que tienen el objetivo de garantizar que el operario se encuentra alejado del área de riesgo de la maquinaria.

Figura 13.33. *Mando bimanual con pulsador de paro de emergencia integrado. (Cortesía de Siemens.)*

Figura 13.34. *Pedal doble de seguridad. (Cortesía de Siemens.)*

Barreras inmateriales y tapices de seguridad

Las barreras inmateriales se basan en un haz de luz infrarroja utilizado para detectar la aproximación de los operarios a áreas de riesgo potencial. Dependiendo del tipo de barrera, estará diseñada para activarse por la aproximación de los dedos, de la mano, o de todo el cuerpo.

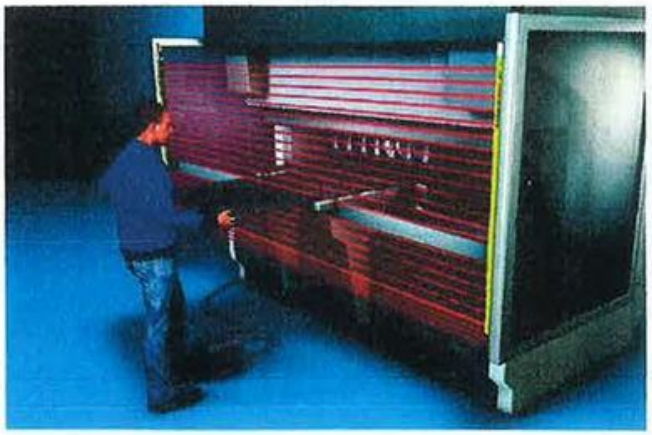


Figura 13.35. *Barrera inmaterial, también conocida como cortina óptica de seguridad. (Cortesía de Leuze Electronic.)*

Figura 13.36. *Dispositivos de generación de barrera inmaterial. (Cortesía de SCHMERSAL.)*

Los tapices, o alfombrillas, de seguridad siguen el mismo principio de funcionamiento que las barreras inmateriales, pero consisten en un sensor táctil que se activa por presión. Ubicados en el suelo, frente o alrededor de máquinas o robots potencialmente peligrosos, se activan al aproximarse, permanecer, o subir hasta un área de peligro.

En el momento que la barrera o el tapiz se activa, se detienen los movimientos peligrosos de la máquina o se desconecta íntegramente del sistema.

Figura 13.37. *Barrera inmaterial de dedos y manos. (Cortesía de Banner.)*

Figura 13.38. *Alfombrilla de seguridad. (Cortesía de ABB.)*

Bordes sensibles

Consisten en un perfil, generalmente de aluminio, con una sección convexa de plástico blando en la parte frontal, en la cual se ubica el sensor de seguridad que se activa al ejercer presión y deformar el borde. Mediante estos dispositivos se reduce el riesgo de cortes o golpes en aplicaciones y maquinaria con puertas o cubiertas móviles.

Figura 13.39. *Bordes sensibles. (Cortesía de ABB.)*

Interruptores y mandos de validación

Se utilizan como medida de seguridad para permitir el acceso de los operarios en condiciones específicas de riesgo reducido, desactivando total o parcialmente las protecciones de la maquinaria en modos de funcionamiento especiales.

Son muy utilizados para realizar labores de mantenimiento, puesta en marcha y ajuste de la maquinaria.

Figura 13.40. *Mando de validación. (Cortesía de ABB.)*

SABÍAS QUE

Para evitar la apertura intempestiva de las protecciones se utilizan dispositivos de enclavamiento eléctrico por electroimán, reduciendo al mínimo la posibilidad de fallo del sistema de seguridad.

13.3.5. Sistemas de control y supervisión de señales de seguridad

La seguridad en la maquinaria industrial no solo viene definida por los diferentes dispositivos de protección utilizados, sino por la garantía que estos sistemas ofrecen en caso de fallo.

A modo de ejemplo, si en un automatismo industrial se conecta el pulsador de paro de emergencia directamente en el circuito de maniobra y este dispositivo se estropea en algún momento de su ciclo de vida útil, se perderá completamente la función de seguridad que cumple, poniendo en grave riesgo a los usuarios de las instalaciones. Sin embargo, si el mismo pulsador es conectado a un dispositivo capaz de monitorizar su estado y actuar automáticamente en caso de anomalía, desconectando, por ejemplo, la alimentación del circuito de potencia, se garantiza que esa instalación no va a perder la función de seguridad.

El uso combinado de estos dispositivos deriva en los denominados sistemas de monitorización, control y supervisión de las señales de seguridad, y tienen como objetivo reducir hasta un grado aceptable el riesgo derivado de una situación de peligro mediante la ejecución de las medidas adecuadas.

De entre todos los dispositivos que realizan funciones de supervisión de la seguridad, los más destacables son:

- Monitores de seguridad.
- Relés de seguridad.
- Controladores de seguridad.

Estos componentes controlan una función específica y aseguran la supervisión completa de una máquina, proceso o instalación a través de la interconexión con otros dispositivos de seguridad. La estructura de los dispositivos de control y supervisión de señales de seguridad debe ser tal que un fallo del propio dispositivo o un fallo externo causado por un sensor o un actuador no pueda provocar la pérdida de la función de seguridad.

Figura 13.41. *Relés y monitores de seguridad. (Cortesía de Siemens.)*

Podría decirse que estos sistemas son el paso intermedio entre los dispositivos de seguridad clásicos asociados a la lógica cableada y los sistemas de control electrónico programables. Los dispositivos de control y supervisión de señales pueden ser configurables para ser conectados a diferentes componentes de seguridad, o tener una única configuración posible, como es el caso, por ejemplo, de los relés de seguridad para mando bimanual, muy frecuentes en determinados entornos industriales.

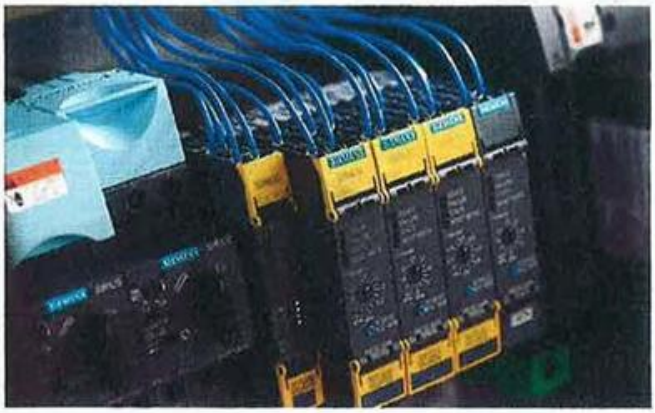


Figura 13.42. *Relés de seguridad integrados en un cuadro eléctrico. (Cortesía de Siemens.)*

Los esquemas de conexión de estos dispositivos dependerán del modelo y del fabricante. También esto influirá en la cantidad de entradas externas de seguridad que son capaces de leer y controlar.

A continuación se muestran algunos ejemplos simplificados de conexionado de relés de monitoreo de seguridad:

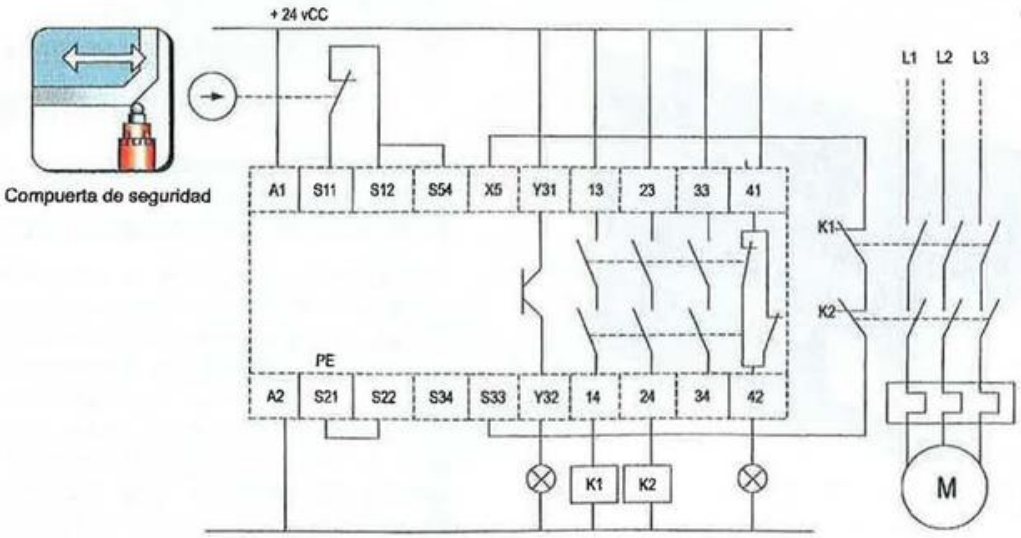


Figura 13.43. *Supervisión de una compuerta de seguridad con interruptor de enclavamiento a través de un relé de seguridad.*

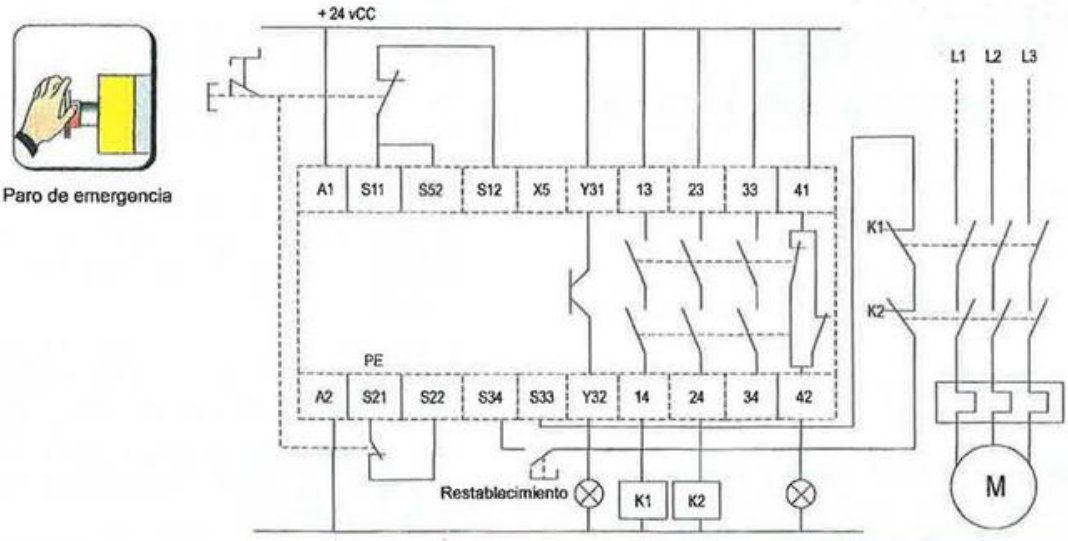


Figura 13.44. *Supervisión de un pulsador de paro de emergencia a través de un relé de seguridad, con restablecimiento manual.*

El restablecimiento del proceso tras la entrada en funcionamiento del sistema de control y supervisión de señales de seguridad puede ser **automático, manual, temporizado** o **monitoreado**.

SABÍAS QUE

En los circuitos de automatismos en los que se desea aumentar la seguridad es muy común utilizar determinados elementos de manera duplicada, como por ejemplo los contactores conectados en serie (tal como se aprecia en los esquemas anteriores), de manera que si uno falla el otro pueda seguir operando con normalidad, garantizando la integridad del sistema.

Autómatas de seguridad

Los autómatas de seguridad son equipos más sofisticados que los relés o controladores de seguridad pero se basan en el mismo principio de funcionamiento. Son utilizados en procesos industriales muy críticos, donde se requieren aplicaciones de seguridad muy complejas que aseguren la detección temprana y la eliminación de las averías y de las faltas de la producción.

El autómata de seguridad supervisa en todo momento las entradas y salidas conectadas, garantizando que un fallo eléctrico o mecánico, la falta de técnica, el uso incorrecto o la manipulación no supongan una amenaza para el proceso de producción, ni comprometan la seguridad de las personas o instalaciones.

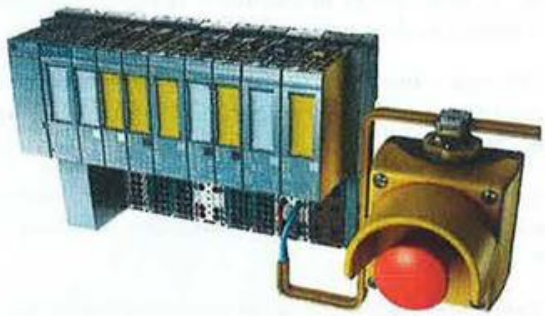


Figura 13.45. *Autómata de seguridad modular. (Cortesía de Siemens.)*

La configuración y programación de estos dispositivos se lleva a cabo con la ayuda de *software* gráfico, pudiendo enlazarse fácilmente con sistemas PLC tradicionales. En caso de requerimientos de seguridad muy sofisticados, es posible extender el sistema mediante módulos E/S funcionales de seguridad.

Mediante el uso de autómatas de seguridad en instalaciones eléctricas, se simplifica el diseño y resulta posible alcanzar el **máximo grado de seguridad** del sistema, denominado *categoría 4/PL, e/SIL 3*.

La mayoría de los dispositivos de seguridad estudiados previamente pueden ser conectados de manera directa a un autómata de seguridad, lo cual permite que se simplifiquen los costes (tanto en sistemas e instalaciones sencillas como en las más complejas) y se amplíen las soluciones de automatización, desde la supervisión de funciones orientadas a la seguridad hasta el control completo de máquinas, instalaciones y secuencias de procesos.

13.4. Métodos de trabajo en las instalaciones eléctricas

Una vez conocidas las principales herramientas, equipos y riesgos asociados a las instalaciones eléctricas, a continuación se muestran las medidas y criterios necesarios para aumentar la seguridad y prevenir accidentes al realizar trabajos de montaje y mantenimiento relacionados con la electricidad:

- Los operarios deben trabajar en pareja cuando exista riesgo de electrocución.
- Antes de utilizar equipos o máquinas eléctricas hay que informarse sobre las precauciones a adoptar para su empleo y respetarlas en todo momento.
- Hay que mantener una distancia de seguridad frente a elementos en tensión, a menos que se garantice una protección con las medidas adecuadas.
- No se debe alterar ni modificar la regulación de los dispositivos de seguridad.
- Hay que comprobar que el cuadro eléctrico se encuentra dotado de interruptores diferenciales y toma de puesta a tierra.
- Nunca se debe puentear un elemento de protección, por ejemplo, un interruptor automático o un interruptor diferencial.
- Antes de utilizar un dispositivo conectado a una instalación eléctrica hay que verificar que se encuentra en perfecto estado.
- Nunca deben manipularse aparatos o instalaciones eléctricas en condiciones de humedad o con los pies descalzos.
- No deben utilizarse cables pelados o que no dispongan de la clavija de enchufe adecuada.
- Hay que evitar que los conductores de alimentación de equipos eléctricos atraviesen zonas húmedas o superficies metálicas.
- Si un equipo o herramienta emite chispas, humo, o produce un leve cosquilleo al manipularlo, debe interrumpirse inmediatamente el suministro eléctrico y comunicar el problema.
- Deben comprobarse las canalizaciones eléctricas empotradas antes de realizar un taladro sobre una pared o techo, para evitar averías o electrocuciones.
- Si el aislamiento de un equipo eléctrico o cable presenta signos de deterioro hay que desconectarlo y solicitar su sustitución.
- Al desconectar un aparato eléctrico hay que tirar de la clavija del enchufe y nunca del cable de alimentación.
- No deben sobrecargarse los enchufes utilizando regletas de manera masiva.
- Al finalizar un trabajo deben desconectarse todos los cables de alimentación y los prolongadores.

Todas las actividades, técnicas y procedimientos para trabajar en las instalaciones eléctricas o en sus proximidades deben cumplir las exigencias expuestas en el Real Decreto 614/2001, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.

Dado que existen numerosos factores de riesgo asociados a los trabajos en las instalaciones eléctricas de baja tensión que es necesario conocer y dominar para evitar accidentes, los trabajos eléctricos no puede realizarlos cualquier persona. Dependiendo del tipo de tarea a realizar, el operario debe tener una formación mínima, que se resume en la siguiente tabla:

Tabla 13.9. Nivel formativo mínimo requerido en función del trabajo a realizar en baja tensión.

Tipo de trabajo		Formación mínima
Trabajos sin tensión	Supresión y reposición de la tensión	Trabajador autorizado
	Ejecución de los trabajos sin tensión	Cualquier trabajador
Trabajos con tensión	Realización	Trabajador cualificado
	Reponer fusibles	Trabajador autorizado
Maniobras, mediciones y ensayos		Trabajador autorizado
Trabajos en proximidad de elementos en tensión	Preparación	Cualquier trabajador
	Realización	Trabajador autorizado

13.4.1. Trabajos sin tensión: las cinco reglas de oro

Las operaciones necesarias para realizar trabajos en instalaciones eléctricas en ausencia de tensión quedan definidas por **las cinco reglas de oro.**

Tabla 13.10. Las cinco reglas de oro.

	1. Apertura, con corte visible, de todas las fuentes de tensión Consiste en cortar la corriente mediante el interruptor automático general si es posible, o mediante el interruptor automático del circuito en el que se va a trabajar.
	2. Bloqueo, siempre que sea posible, de los elementos de corte Algunos dispositivos de corte pueden ser bloqueados mediante llaves o candados específicos. Si esto no resulta posible debe bloquearse el acceso al cuadro para evitar su manipulación mientras se realiza el trabajo.
	3. Comprobación de la ausencia de tensión Debe verificarse, mediante un instrumento de medida adecuado, la ausencia de tensión en el circuito antes de empezar a trabajar en él.
	4. Puesta a tierra y en cortocircuito Es recomendable conectar todos los conductores de fase y el neutro entre sí y unirlos a la instalación de puesta a tierra para aumentar la seguridad. Esta regla no es obligatoria en instalaciones de baja tensión.
	5. Señalización y delimitación de la zona de trabajo Para evitar que terceras personas reconecten la tensión mientras se está ejecutando los trabajos, es recomendable colocar elementos de señalización o carteles informativos en el cuadro eléctrico.

Las **cinco reglas de oro** están enfocadas fundamentalmente para instalaciones de alta y media tensión. En instalaciones de baja tensión solo es obligatoria la aplicación de las tres primeras normas, aunque es conveniente realizar el proceso completo.

Tabla 13.11. Criterios de cumplimiento de las cinco reglas de oro.

"5 reglas de oro"	Tipo de instalación	
	Baja tensión	Alta tensión
1.ª	Obligatorio	Obligatorio
2.ª	Obligatorio, si es posible	Obligatorio, si es posible
3.ª	Obligatorio	Obligatorio
4.ª	Recomendable	Obligatorio
5.ª	Recomendable	Obligatorio

Una vez finalizado el trabajo, para la reposición de la tensión deben retirarse, en este orden, *las señalizaciones*, *la puesta a tierra* y por último, *los elementos de bloqueo.*

RECUERDA

Los trabajos sin tensión son aquellos que se ejecutan tras haber desconectado todas las fuentes de alimentación de la instalación.

Es importante destacar que la **ejecución** de trabajos sin tensión puede ser realizada por cualquier trabajador, mientras que la supresión de la tensión previa a los trabajos, así como la reposición de la tensión posterior a los trabajos solo puede ser llevada a cabo por trabajadores autorizados.

En este sentido, durante los trabajos en ausencia de tensión, resulta posible (aunque no recomendable) no hacer uso de determinados equipos de protección individual de protección eléctrica, siempre que haya sido verificado el cumplimiento de las citadas cinco reglas de oro. Sin embargo, durante la supresión y reposición de la tensión el operario debe disponer de todos los medios y equipos que garanticen su protección frente al riesgo eléctrico.

Figura 13.46. *Operario realizando un trabajo en ausencia de tensión sin hacer uso de guantes de protección eléctrica.*

13.4.2. Trabajos en presencia de tensión

En general, los trabajos en las instalaciones eléctricas de baja tensión deben realizarse en ausencia de tensión, es decir, con los circuitos desconectados. Sin embargo, hay situaciones en las que resulta imposible cortar el suministro y es necesario **trabajar en tensión**. Esta es una situación de máximo riesgo que hay que conocer y dominar para evitar accidentes.

Existen tres métodos de trabajo en tensión:

- Método de trabajo a potencial, utilizado generalmente en líneas eléctricas de alta tensión.
- Método de trabajo a distancia, utilizado generalmente en instalaciones de media tensión.
- Método de trabajo en contacto, utilizado principalmente en baja tensión.

El método de trabajo en contacto requiere la utilización de guantes aislantes en las manos y la utilización de herramientas manuales que dispongan del aislamiento adecuado.

Dado el peligro que suponen los trabajos en tensión, **deberán ser realizados exclusivamente por operarios que tengan la formación adecuada** y estando presente, al menos, otro trabajador con conocimientos de primeros auxilios.

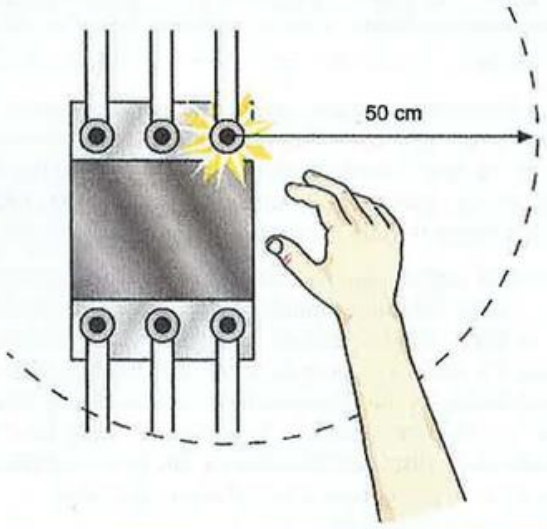


Figura 13.47. *Distancia mínima de seguridad para trabajos en instalaciones de baja tensión. (Cortesía de Cewiss.)*

RECUERDA

A simple vista no se puede saber si un componente de la instalación eléctrica se encuentra en tensión, por lo que debes asegurar la ausencia de tensión antes de comenzar a realizar cualquier trabajo, utilizando los elementos de medida adecuados.

Actividad resuelta 13.2

Observa la siguiente imagen en la que se muestra a un operario realizando un trabajo eléctrico en tensión y responde a las siguientes preguntas:

a) ¿Lo está realizando correctamente?

b) ¿Qué medidas de seguridad le recomendarías?

Solución:

El trabajo no lo está realizando correctamente, puesto que se expone a un riesgo muy alto de sufrir una descarga eléctrica por contacto directo.

Sería recomendable desconectar la alimentación de esa base de corriente antes de trabajar en ella. Si esto no fuera posible, debería utilizar guantes y herramientas aislantes para aumentar la seguridad.

13.4.3. Trabajos en altura

Otro de los factores de riesgo más importantes a tener en cuenta durante la ejecución de las tareas de montaje y mantenimiento en las instalaciones de automatismos industriales, es el de los trabajos en altura.

Figura 13.48. *Operario realizando adecuadamente un trabajo en altura.*

Se define como trabajo en altura toda tarea que se realiza a una **altura superior a dos metros** y en la cual puede resultar necesario utilizar elementos como escaleras, plataformas o andamios. Este riesgo laboral aparece como consecuencia de que gran parte de los dispositivos que componen las instalaciones eléctricas se localizan en zonas elevadas e inaccesibles desde el nivel del suelo, por lo que su manipulación tendrá la consideración de trabajo en altura.

Para realizar este tipo de trabajos con seguridad, deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- No se realizarán trabajos en altura sobre cajas, sillas, mesas, bidones o elementos similares.
- Deben utilizarse siempre cinturones especiales portaherramientas, bolsas o bandoleras para tener las manos libres.
- No utilizar escaleras metálicas cerca de equipos eléctricos con tensión.
- Comprobar que todos los peldaños de la escalera a utilizar se encuentran en buen estado y que no hay evidencia de empalmes.
- En las escaleras no debe haber más de una persona subida simultáneamente.
- Las posturas adoptadas sobre una escalera deben garantizar el equilibrio en todo momento.
- Las escaleras simples deben estar provistas de ganchos o sistemas antideslizantes y se colocarán formando un ángulo aproximado de 75° respecto del suelo.

Figura 13.49. *Escaleras y andamios válidos para realizar trabajos en altura.*

- Las escaleras de tijera deben estar completamente abiertas para poder trabajar en ellas.
- El montaje de los andamios se realizará exclusivamente por personal autorizado.
- No se utilizarán escaleras sobre la superficie de los andamios.
- Para los trabajos que se realicen a una altura superior a 4 metros, deberán utilizarse medidas de seguridad complementarias como cinturones de seguridad, arneses o líneas de vida.

Figura 13.50. *Arnés de seguridad para trabajos en altura superiores a 4 metros.*

Todas las actividades, técnicas y procedimientos para realizar trabajos en altura deben cumplir las exigencias expuestas en el Real Decreto 1215/1997 y en el Real Decreto 2177/2004, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura.

Actividad propuesta 13.2

Analiza las frases mostradas a continuación y razona si son verdaderas o falsas, justificando la respuesta:

a) Los trabajos en tensión son los más arriesgados y peligrosos y solo deben llevarse a cabo cuando por las características de la instalación no quede otra alternativa.

b) Un trabajo en altura que sea fácil de ejecutar puede realizarse desde lo alto de una silla, siempre que sea robusta.

c) Únicamente podrán realizar la preparación de trabajos en proximidad de elementos en tensión los operarios altamente cualificados.

d) En las escaleras puede haber más de una persona subida simultáneamente, siempre que sea para garantizar la estabilidad.

13.5. Medidas de protección ambiental

Las medidas de protección ambiental tienen como objetivo regular, organizar y controlar las actividades de una empresa que puedan afectar al medio ambiente, dentro del ámbito de aplicación del desarrollo sostenible.

La legislación estatal sobre las medidas de protección ambiental establece fundamentalmente los requisitos aplicables a la **evaluación de impacto ambiental** de proyectos consistentes en la realización de obras, instalaciones o cualquier otra actividad similar. Las medidas de protección a adoptar para el resto de actividades profesionales deben acogerse a los denominados **sistemas de gestión ambiental**.

Figura 13.51. *El reciclaje y el ahorro de energía son medidas básicas de protección ambiental.*

13.5.1. Evaluación del impacto ambiental

Los estudios de evaluación del impacto ambiental tendrán en cuenta todas las disposiciones legales vigentes aplicables en función de cada tipo de instalación, con el objetivo de preservar al máximo el medio ambiente antes, durante y después de la ejecución de la misma.

La evaluación del impacto ambiental que supone una determinada actividad puede establecerse a partir de uno o varios de los siguientes documentos:

- **Estudio de viabilidad.** Analiza si realmente la utilidad social de la instalación justifica el impacto previsto. Si el resultado de un estudio de viabilidad determina que el impacto final es demasiado elevado, este no podría ser llevado a cabo en las condiciones propuestas.
- **Estudio de impacto ambiental.** Introduce la variable medioambiental en la toma de decisiones. Debe garantizar que en caso de llevarse a cabo la ejecución de las obras, se tendrán en cuenta sus efectos proponiendo medidas de actuación y alternativas eficaces para evitar o disminuir los posibles daños en el entorno.
- **Procedimiento de trazabilidad de materiales y residuos.** Establece cómo depositar, almacenar y tratar cada uno de los residuos generados. Los residuos peligrosos se identificarán mediante los pictogramas correspondientes y se depositarán únicamente en los contenedores dispuestos para ellos.
- **Conservación y restauración ambiental.** Plantea las medidas de mantenimiento y rehabilitación de los ambientes o zonas que han sido afectadas, suponiendo que dicho impacto haya sido aprobado por el estudio de viabilidad.

En lo que respecta a la normativa y legislación vigentes sobre los planes y estudios de impacto y gestión medioambiental, a pesar de ser una materia muy amplia, cabe hacer una especial mención a las siguientes disposiciones legales aplicables a nivel nacional:

- Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos.

Al dimensionar una instalación eléctrica, debe ser tenido en cuenta el artículo 3 del Real Decreto Legislativo 1/2008, que especifica qué tipo de proyectos son los que deben ser sometidos a la evaluación del impacto ambiental, dependiendo de las características de la instalación y de la actividad económica implicada.

Así, los proyectos de instalaciones que hayan de someterse a evaluación de impacto ambiental deberán incluir el correspondiente **estudio de impacto ambiental** que contendrá, como mínimo, los siguientes datos:

1. Descripción general del proyecto y exigencias previsibles en el tiempo, en relación con la utilización del suelo y de otros recursos naturales.
2. Estimación de los tipos y cantidades de residuos vertidos y emisiones de materia o energía resultantes.
3. Exposición de las alternativas estudiadas y justificación de las razones de la solución adoptada teniendo en cuenta los efectos ambientales.

4. Evaluación de los efectos previsibles directos e indirectos del proyecto sobre la población, la flora, la fauna, el suelo, el aire, el agua, los factores climáticos, el paisaje y los bienes materiales, incluido el patrimonio histórico artístico y el arqueológico.
5. Medidas previstas para reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales significativos.
6. Programa de vigilancia ambiental.
7. Resumen del estudio y conclusiones en términos fácilmente comprensibles.
8. Informe de las dificultades informativas o técnicas encontradas en la elaboración del mismo.

13.5.2. Sistemas de gestión ambiental

Para lograr llevar a cabo las medidas de protección ambiental oportunas, toda empresa puede acogerse a los denominados **sistemas de gestión ambiental**. Estos sistemas, que pretenden prevenir o mitigar el impacto ambiental de una determinada actividad profesional, quedan regulados por los siguientes textos legales:

- Norma UNE-EN ISO 14001:2004, que establece las condiciones para implantar un sistema de gestión ambiental efectivo.
- Reglamento (CE) 761/2001, por el que se permite que las organizaciones se adhieran con carácter voluntario a un sistema de gestión y auditoría medioambientales.
- Reglamento (CEE) 1836/1993 por el que se permite que las empresas del sector industrial se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales.

Una determinada empresa que desee acogerse a un plan de gestión ambiental efectivo y reconocido a nivel europeo, debe llevar a cabo una serie de auditorías internas, así como realizar análisis medioambientales e informes al respecto, presentando finalmente la información al organismo autorizado correspondiente.

SABÍAS QUE

Los sistemas de gestión ambiental son más conocidos por sus siglas, SGA.

En cualquier caso, una adecuada política medioambiental debe garantizar una gestión sostenible, optimizando el consumo de recursos naturales, energéticos y de materias primas, minimizando el impacto de las actividades en el medio ambiente y haciendo uso de las medidas preventivas necesarias para evitar cualquier tipo de contaminación.

13.5.3. Fuentes de contaminación del entorno ambiental

La legislación actual pretende fomentar la clasificación de residuos y la retirada selectiva de los mismos, que es en definitiva lo que se conoce como reciclaje. En particular, la Orden MAM/304/2002 publica las operaciones de valorización y eliminación de residuos y establece la Lista Europea de Residuos (LER).

De estas y otras disposiciones pueden obtenerse las principales fuentes de contaminación del entorno ambiental generadas por las empresas dedicadas al ámbito de las instalaciones eléctricas, que se resumen en:

- Residuos orgánicos.
- Embalajes y otros residuos de envases.
- Residuos químicos:
  - Pilas, baterías y acumuladores.
- Residuos generados en la construcción y obra nueva:
  - Escombros, hormigón, ladrillos, cerámica y materiales de aislamiento.
  - Madera, vidrio y plástico.
  - Residuos metálicos.
- Residuos generados en los trabajos de mantenimiento:
  - Cables, papel, cartón, plásticos y madera.
  - Equipos eléctricos y electrónicos sin componentes peligrosos.
  - Equipos eléctricos y electrónicos con componentes peligrosos.
- Contaminantes físicos derivados del uso de vehículos.
- Contaminantes físicos derivados del uso de dispositivos y equipos electromagnéticos.
- Almacenamiento de equipos y materiales tóxicos.

Figura 13.32. *Productos de absorción universal para vertidos de sustancias peligrosas. (Cortesía de 3M.)*

- Incendio de materiales.
- Contaminación atmosférica:
  - — Ruidos.
  - — Polvo.
- Vertidos sólidos, líquidos o gaseosos en el suelo, aire o agua.

Actividad propuesta 13.3

Confecciona un plan de gestión de residuos de obra para un proyecto eléctrico de baja tensión que trate sobre la ejecución de cuatro instalaciones solares fotovoltaicas. Cada una de las instalaciones fotovoltaicas se instalará sobre la cubierta de una nave industrial, contará con un acceso a red independiente y su potencia nominal será de 20 kW.

El contenido mínimo del plan de gestión de residuos que se debe elaborar es el siguiente:

a) Clasificación y descripción de los residuos.

b) Estimación del volumen de residuos generados.

c) Medidas de prevención de los residuos y operaciones de clasificación y recogida de los mismos.

d) Evaluación de los costes asociados.

13.5.4. Reciclaje de componentes y materiales

La regulación, a nivel nacional, de las medidas adoptadas para la correcta clasificación y retirada de residuos trata de fomentar y mejorar el control y la gestión ambiental, reduciendo el consumo de recursos naturales y potenciando el uso de recursos más respetuosos con el medio ambiente. Los textos legales más relevantes en este sentido son los siguientes:

- Ley 11/1997, de envases y residuos de envases.
- Ley 10/1998, de residuos.
- Real Decreto 208/2005, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos.
- Real Decreto 106/2008, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos.
- Directiva 75/442/CEE, relativa a los residuos y sus modificaciones posteriores.
- Directiva 91/156/CEE, por la que se modifica la Directiva 75/442/CEE relativa a los residuos.
- Ordenanzas generales de protección del medio ambiente urbano.

La normativa establece que cada residuo debe depositarse en su correspondiente contenedor o zona identificada para ello.

Respecto a los considerados como **residuos peligrosos**, tal como se ha comentado, se identificarán mediante los pictogramas correspondientes y se depositarán únicamente en los contenedores dispuestos para ello. El plazo máximo legal permitido para su almacenamiento es de 6 meses.

Figura 13.53. *Contenedores para el reciclaje selectivo de residuos.*

Todos los miembros de una empresa tienen el derecho de recibir formación específica sobre reciclaje y separación de desechos y el deber de asegurar el correcto cumplimiento de la normativa de protección ambiental y fomentar una **adecuada gestión, clasificación y retirada de residuos.**

Actividades de comprobación

13.1. Si un determinado incidente extremadamente dañino tiene una probabilidad media de producirse, se considera que es un tipo de riesgo:

a) Intolerable.
b) Importante.
c) Moderado.

13.2. El valor de la intensidad eléctrica que se considera umbral de seguridad para una persona es el correspondiente a:

a) 3 mA.
b) 0,03 A.
c) 300 mA.

13.3. Se define como trabajo en altura toda tarea en la cual puede resultar necesario utilizar elementos como escaleras, plataformas o andamios y que se realiza a una altura superior a:

a) Dos metros.
b) Tres metros.
c) Cuatro metros.

13.4. El efecto resultante del paso de corriente eléctrica a través del cuerpo humano o de un animal, tras producirse un contacto eléctrico directo o indirecto, se denomina:

a) Choque eléctrico.
b) Descarga eléctrica.
c) Impacto eléctrico.

13.5. ¿Cuál es el plazo máximo legal permitido para el almacenamiento de residuos peligrosos?

a) 3 meses.
b) 6 meses.
c) 9 meses.

13.6. Indica cuál de las siguientes afirmaciones, referentes a métodos de trabajo en instalaciones eléctricas de baja tensión, es correcta:

a) Todas las bases de toma de corriente que se utilicen para la conexión de receptores eléctricos deben carecer de toma de tierra.
b) Deben utilizarse cables pelados o que no dispongan de la clavija de enchufe adecuada.
c) No es recomendable abrir las carcasas de protección de los equipos eléctricos.

13.7. ¿Qué tipo de trabajador podrá realizar trabajos en ausencia de tensión?

a) Trabajador autorizado.
b) Cualquier trabajador.
c) Trabajador cualificado.

13.8. El documento que analiza si realmente la utilidad social del proyecto justifica el impacto previsto se denomina:

a) Procedimiento de trazabilidad de materiales y residuos.
b) Estudio de conservación y restauración ambiental.
c) Estudio de viabilidad.

13.9. Las siglas EPI hacen referencia a:

a) Un equipo de protección independiente.
b) Un estudio propio interno.
c) Ninguna opción es correcta.

13.10. ¿Cuál de los siguientes dispositivos no puede ser considerado como un equipo de control y supervisión de señales de seguridad?

a) Relé de seguridad.
b) Autómata de seguridad.
c) Barreras inmateriales y tapices de seguridad.

13.11. Una señal de seguridad de forma geométrica redonda y pictograma interno de color blanco es de tipo:

a) Prohibición.
b) Obligación.
c) Salvamento o socorro.

13.12. Los componentes de una instalación de automatismos industriales que se utilizan para controlar la posición de las protecciones móviles de la maquinaria, con el objetivo de asegurar la seguridad colectiva, se denominan:

a) Dispositivos de doble o triple accionamiento.
b) Interruptores de enclavamiento.
c) Interruptores y mandos de validación.

Actividades de aplicación

13.1. Enumera los riesgos potenciales asociados a una máquina industrial.

13.2. Indica tres derechos y tres deberes que les corresponden a los trabajadores.

13.3. Indica tres deberes del empresario.

13.4. Responde a las siguientes cuestiones:
- a) ¿Qué es un choque eléctrico?
- b) ¿Qué es un contacto eléctrico?
- c) ¿Qué tipos de contactos eléctricos conoces? ¿En qué se diferencian?

13.5. Enumera cuatro posibles efectos que puede sufrir una persona tras un choque eléctrico.

13.6. Resume los pasos que deben ser llevados a cabo para proceder adecuadamente en la respiración de salvamento.

13.7. Realiza un listado de las posibles fuentes de contaminación del entorno ambiental derivadas del montaje y puesta en servicio de una instalación de automatismos industriales.

13.8. ¿Qué es un sistema de gestión ambiental?

13.9. Enumera seis medidas necesarias para aumentar la seguridad y prevenir accidentes al realizar trabajos de montaje y mantenimiento relacionados con la electricidad y tres medidas de seguridad a tener en cuenta en los trabajos en altura.

13.10. ¿Qué son los interruptores de enclavamiento? Cita algunos ejemplos de su utilización en entornos industriales.

13.11. Define brevemente en qué consisten los sistemas de control y supervisión de señales de seguridad, relacionándolos con los posibles niveles de seguridad en las instalaciones de automatismos.

13.12. Explica brevemente qué son y en qué consisten las cinco reglas de oro para trabajos eléctricos en ausencia de tensión.

13.13. ¿Cada cuánto tiempo debe realizarse la prueba de funcionamiento (pulsador de test) de los interruptores diferenciales que protegen un circuito eléctrico?

13.14. Razona en cuál de los siguientes supuestos puede trabajar un empleado sin cualificación ni autorización para realizar trabajos eléctricos.
- a) Ejecución de los trabajos sin tensión.
- b) Reponer fusibles en tensión.
- c) Maniobras, mediciones y ensayos en los equipos de la instalación.
- d) Preparación de trabajos en proximidad de elementos en tensión.

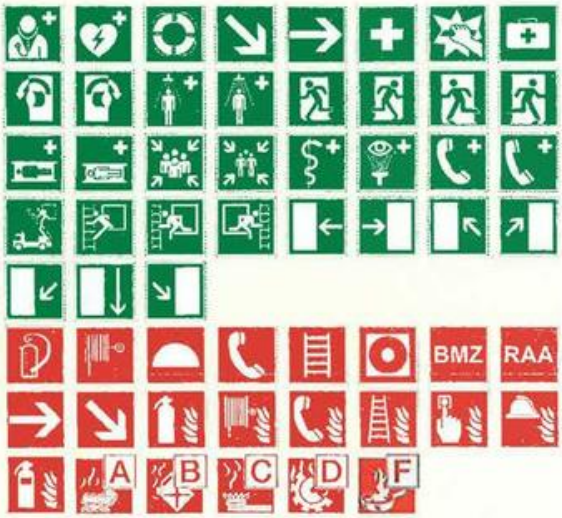
13.15. Razona en cuál de los siguientes supuestos puede trabajar un empleado autorizado para realizar trabajos eléctricos.
- a) Ejecución de los trabajos sin tensión.
- b) Reponer fusibles en tensión.
- c) Maniobras, mediciones y ensayos en los equipos de la instalación.
- d) Preparación de trabajos en proximidad de elementos en tensión.

13.16. Explica qué es un autómata de seguridad, cuál es su función, qué características fundamentales tiene y en qué tipo de instalaciones se utiliza.

13.17. Cita al menos cinco ejemplos de equipos, dispositivos o aparamenta de seguridad integrada y colectiva.

Casos prácticos

13.1. Identifica cada una de las señales expuestas a continuación, razonando su significado. Indica, asimismo, en qué lugares o junto a qué equipamiento deberían ser ubicadas.



13.2. Completa la siguiente tabla indicando cuáles de las acciones expuestas son correctas o incorrectas a la hora de realizar trabajos en instalaciones eléctricas y de automatismos industriales.

Acción	Correcta	Incorrecta
Desconectar un circuito eléctrico antes de repasar una avería en un receptor		
Manipular conductores eléctricos en estado defectuoso		
Puentear un interruptor automático para que no actúe por exceso de potencia		
Conectar la lavadora en una base de toma de corriente sin toma de tierra		
Desconectar una carga eléctrica si se detectan síntomas de sobrecalentamiento		
Tirar del cable para desconectar un receptor eléctrico		
Utilizar una escalera sobre la superficie de un andamio		
Realizar un trabajo en tensión sin utilizar guantes aislantes		
Manipular un receptor eléctrico con las manos mojadas		
Separar de un circuito eléctrico con una pértiga aislante a una persona que se está electrocutando		
Organizar el material eléctrico de recambio y depositarlo en lugares húmedos		

13.3. Observa las siguientes imágenes, en las que se muestran a diferentes personas efectuando trabajos relacionados con las instalaciones eléctricas.

I

II

III

IV

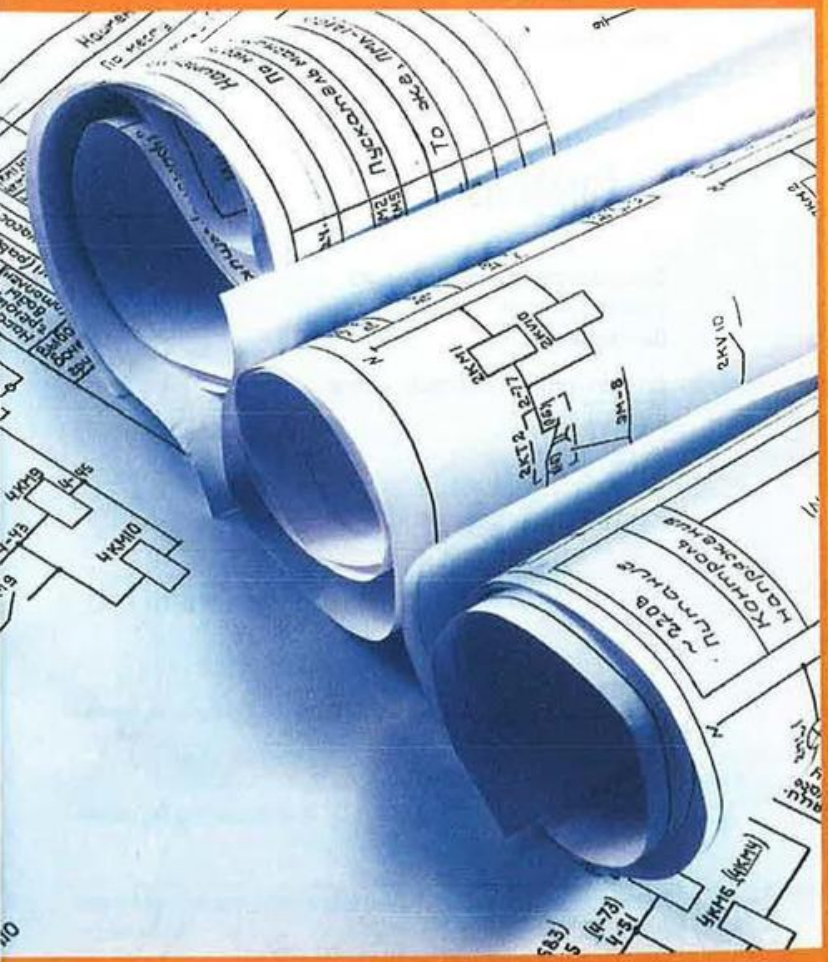
Para cada una de las imágenes mostradas, responde a las siguientes preguntas:

a) ¿El operario está realizando el trabajo adecuadamente?

b) ¿Qué equipos o materiales de protección individual identificas en la imagen?

c) ¿Qué medidas alternativas de seguridad recomendarías al trabajador?

Anexo. Simbología normalizada



A continuación se ofrece un listado de toda la simbología normalizada relacionada con el entorno de la electricidad y los automatismos industriales, en consonancia con la norma UNE-EN 60617.

Este anexo, por tanto, pretende ser una guía de consulta para facilitar las labores de representación e interpretación de esquemas y planos

ANEXOS

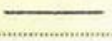
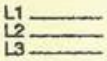
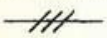
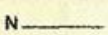
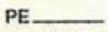
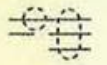
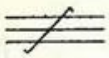
Contenidos

- Electricidad general
- Designación de los conductores
- Bornes y conexiones
- Contactos
- Elementos de mando y medida
- Elementos acústicos y de señalización
- Elementos y materiales diversos
- Máquinas eléctricas rotativas
- Elementos y mandos mecánicos

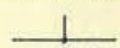
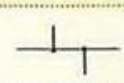
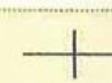
Electricidad general

Corriente alterna	
Corriente continua	
Corriente ondulada o rectificada	
Corriente alterna trifásica a 50 Hz	
Puesta a tierra	
Puesta a masa	
Tierra de protección	

Designación de los conductores

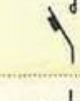
Conductor, circuito auxiliar	
Conductor, circuito principal	
Haz de 3 conductores	
Representación unifilar	
Conductor neutro	
Conductor de protección	
Conductores blindados (apantallados)	
Conductores trenzados	

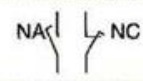
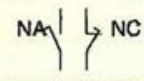
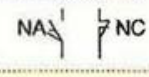
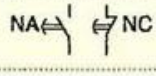
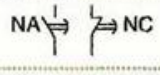
Bornes y conexiones

Derivación	
Doble derivación	
Cruce sin conexión	

Borne de conexión móvil	
Borne de conexión fija	
Bornero de conexión	
Conexiones por contacto deslizante	
Clavija macho	
Toma hembra	
Clavija y toma asociada	

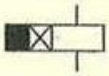
Contactos

Contacto cierre NA (símbolo general) Izquierda: principal Derecha: auxiliar	
Contacto apertura NC (símbolo general) Izquierda: principal Derecha: auxiliar	
Interruptor (símbolo general)	
Seccionador	
Contactor	
Disyuntor	
Guardamotor	
Interruptor seccionador	
Interruptor seccionador con apertura automática	
Seccionador fusible	

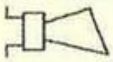
Contacto de dos direcciones sin solapado (apertura antes que el cierre)	
Contactos de dos direcciones con solapado	
Contactos de dos direcciones con un punto central en posición de apertura	
Contacto adelantado	
Contacto retardado	
Contacto de paso, cierre momentáneo al trabajo	
Contacto de paso, cierre momentáneo al reposo	
Interruptor de posición	
Contacto temporizado a la conexión	
Contacto temporizado a la desconexión	

Elementos de mando y medida

Mando electromagnético (símbolo general)	
Mando electromagnético de 2 arrollamientos	
Mando electromagnético de conexión retardada	
Mando electromagnético de desconexión retardada	
Mando electromagnético de un relé de remanencia	
Mando electromagnético de enclavamiento mecánico	

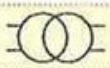
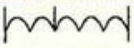
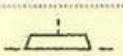
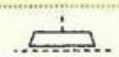
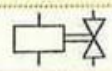
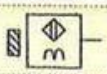
Mando electromagnético de un relé polarizado	
Mando electromagnético de corriente alterna	
Mando electromagnético de un relé intermitente	
Mando electromagnético de un relé de impulso	
Mando electromagnético de conexión y desconexión retardados	
Relé de medida o dispositivo equivalente (símbolo general)	
Relé de sobreintensidad de efecto magnético	
Relé de sobreintensidad de efecto térmico	
Relé de sobreintensidad de efecto magnetotérmico	
Relé de máxima intensidad	
Relé de máxima tensión	
Relé de mínima tensión	
Relé a la falta de tensión	
Dispositivo accionado por la frecuencia	
Dispositivo accionado por el nivel de fluido	
Dispositivo accionado por un número de sucesos	
Dispositivo accionado por la presencia de un caudal	
Dispositivo accionado por presión	

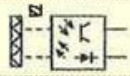
Elementos acústicos y de señalizacion

Piloto de señalización o lámpara de alumbrado	
Dispositivo luminoso intermitente	
Bocina	
Timbre	
Sirena	
Zumbador	

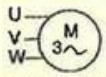
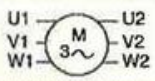
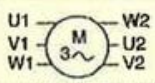
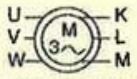
Elementos y materiales diversos

Fusible	
Fusible con percutor	
Rectificador	
Puente rectificador	
Tiristor	
Condensador	
Pila o acumulador	
Resistencia	
Inductancia	
Potenciómetro	
Varistancia	
Fotorresistencia	
Fotodiodo	
Fototransistor (tipo PNP)	

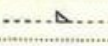
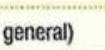
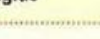
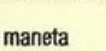
Transformador de tensión	
Autotransformador	
Transformador de intensidad	
Limitador de sobretensiones	
Pararrayos	
Arrancador	
Arrancador estrella-triángulo	
Aparato indicador o equipo de medida (símbolo general)	
Amperímetro	
Aparato registrador (símbolo general)	
Amperímetro registrador	
Contador	
Contador de amperios/hora	
Freno (símbolo general)	
Freno bloqueado	
Freno liberado	
Válvula	
Electroválvula	
Reloj	
Contador de impulsos	
Detector sensible al contacto	
Detector de proximidad (símbolo general)	
Detector de proximidad inductivo	

Detector de proximidad capacitivo	
Detector fotoelectrónico	

Máquinas eléctricas rotativas

Motor asíncrono trifásico de jaula	
Motor asíncrono trifásico de 2 arrollamientos estatóricos separados	
Motor asíncrono trifásico de 6 bornas de salida (acoplamiento estrella-triángulo)	
Motor asíncrono trifásico de polos conmutables (motor de 2 velocidades tipo Dahlander)	
Motor asíncrono trifásico, motor de anillos	
Motor de imán permanente	
Generador de corriente alterna	
Generador de corriente continua	
Motor de corriente continua con excitación independiente	
Motor de corriente continua con excitación compuesta	
Motor de corriente continua con excitación en serie	

Elementos y mandos mecánicos

1) Enlace mecánico largo 2) Enlace mecánico corto	
Dispositivo de enganche	
Dispositivo de enganche retenido	
Dispositivo de enganche liberado	
Retorno automático	
Retorno no automático	
Retorno enganchado	
Enclavamiento mecánico	
Bloqueo	
Mando mecánico manual (símbolo general)	
Mando mecánico por pulsador (retorno automático)	
Mando mecánico por tirador (retorno automático)	
Mando mecánico rotativo (de enganche)	
Mando mecánico de seta	
Mando mecánico por volante	
Mando mecánico por pedal	
Mando mecánico de acceso restringido	
Mando mecánico por palanca	
Mando mecánico por palanca con maneta	
Mando mecánico por llave	
Mando mecánico por manivela	
Mando mecánico por pulsador con desenganche automático	
Mando mecánico por roldana	
Mando mecánico por palanca y roldana	
Mando mecánico por motor eléctrico	
Traslación hacia la derecha	
Traslación hacia la izquierda	
Traslación en ambos sentidos	
Rotación de sentido directo	
Rotación de sentido inverso	
Rotación en ambos sentidos	
Rotación limitada en ambos sentidos	